



特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

2000年 9月20日

出願番号

Application Number:

特願2000-285448

出願人

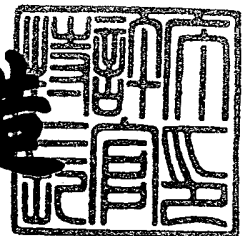
Applicant(s):

古河電気工業株式会社

2000年10月13日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3085099

【書類名】 特許願

【整理番号】 A00274

【提出日】 平成12年 9月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/12

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 柏原 一久

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 奈良 一孝

【特許出願人】

【識別番号】 000005290

【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100093894

【弁理士】

【氏名又は名称】 五十嵐 清

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成11年特許願第370602号

【出願日】 平成11年12月27日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000- 58646

【出願日】 平成12年 3月 3日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-102473

【出願日】 平成12年 4月 4日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 000480

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9108379

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 アレイ導波路回折格子型光合分波器および光導波回路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 1 本以上の並設された光入力導波路の出射側に第 1 のスラブ導波路が接続され、該第 1 のスラブ導波路の出射側には該第 1 のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いの長さが設定量異なる複数のチャンネル導波路が並設されて成るアレイ導波路が接続され、該アレイ導波路の出射側には第 2 のスラブ導波路が接続され、該第 2 のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記少なくとも 1 本以上の光入力導波路の出射側と前記少なくとも 1 本以上の出力導波路の入射側の少なくとも一方には、マルチモードとなる幅のマルチモード導波路が接続されており、該マルチモード導波路の少なくとも一部分にアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する形状の導波路を有していることを特徴とするアレイ導波路回折格子型光合分波器。

【請求項 2】 1 本以上の並設された光入力導波路の出射側に第 1 のスラブ導波路が接続され、該第 1 のスラブ導波路の出射側には該第 1 のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いの長さが設定量異なる複数のチャンネル導波路が並設されて成るアレイ導波路が接続され、該アレイ導波路の出射側には第 2 のスラブ導波路が接続され、該第 2 のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記少なくとも 1 本以上の光入力導波路の出射側と前記少なくとも 1 本以上の出力導波路の入射側の少なくとも一方には、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路が接続されており、該台形状導波路は対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも広幅と成していることを特徴とするアレイ導波路回折格子型光合分波器。

【請求項 3】 1 本以上の光入力導波路と台形状導波路の間と、1 本以上の光出力導波路と台形状導波路の間の少なくとも一方には、直線導波路が介設されており、該直線導波路は対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅と成していることを特徴とする請求項 2 記載のアレイ導波路回折格子型光合分波器。

【請求項 4】 1 本以上の光入力導波路と台形状導波路の間と、1 本以上の光出力導波路と台形状導波路の間の少なくとも一方には、対応する台形状導波路の狭幅端の幅と同じ幅の等幅導波路が形成されていることを特徴とする請求項 2 記載のアレイ導波路回折格子型光合分波器。

【請求項 5】 1 本以上の光入力導波路と台形状導波路の間と、1 本以上の光出力導波路と台形状導波路の間の少なくとも一方には、対応する台形状導波路の狭幅端の幅と同じ幅の等幅導波路が形成されており、この等幅導波路に対応する光入力導波路と光出力導波路の少なくとも一方と等幅導波路との間には、前記対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅の狭幅直線導波路が設けられていることを特徴とする請求項 2 記載のアレイ導波路回折格子型光合分波器。

【請求項 6】 シングルモード導波路に、マルチモードとなる幅のマルチモード導波路が接続されており、該マルチモード導波路の少なくとも一部分に光の進行方向に向かうにつれて拡幅する形状のマルチモード拡幅形状導波路を有していることを特徴とする光導波回路。

【請求項 7】 マルチモード拡幅形状導波路は台形状導波路であることを特徴とする請求項 6 記載の光導波回路。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信分野などに使用されるアレイ導波路回折格子型光合分波器および光導波回路に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来技術】

近年、光通信においては、その伝送容量を飛躍的に増加させる方法として、光波長多重通信の研究開発が盛んに行なわれ、実用化が進みつつある。光波長多重通信は、例えば互いに異なる波長を有する複数の光を波長多重化して伝送させるものであり、このような光波長多重通信のシステムにおいては、伝送される波長多重光から互いに異なる複数の波長の光を分波したり、互いに異なる複数の波長

の光を合波する光合分波器が必要である。

【 0 0 0 3 】

この種の光合分波器には、以下のような性能が要求される。すなわち、第 1 に、予め定められた設定波長範囲内において、できるだけ狭い波長間隔で光の合分波を行なえることが要求される。第 2 に、合分波する光の中心波長付近における波長平坦性が優れていることが要求される。第 3 に、隣接する通過波長間のクロストーク（以下、隣接クロストークと呼ぶ）が低いことが要求される。

【 0 0 0 4 】

上記要求性能のうち、第 1 の要求性能を満たす光波長合分波器の一例として、アレイ導波路回折格子（AWG；Arrayed Waveguide Grating）型光合分波器がある。アレイ導波路回折格子型光合分波器は、例えば図 28 の（a）に示すような導波路構成を有する光導波路部 10 を基板 11 上に形成したものである。

【 0 0 0 5 】

前記導波路構成は、1 本以上の並設された光入力導波路 12 の出射側に、第 1 のスラブ導波路 13 が接続され、第 1 のスラブ導波路 13 の出射側には、アレイ導波路 14 が接続され、アレイ導波路 14 の出射側には第 2 のスラブ導波路 15 が接続され、第 2 のスラブ導波路 15 の出射側には複数の並設された光出力導波路 16 が接続されて形成されている。

【 0 0 0 6 】

前記アレイ導波路 14 は、第 1 のスラブ導波路 13 から導出された光を伝搬するものであり、複数のチャンネル導波路 14 a を並設して形成されており、隣り合うチャンネル導波路 14 a の長さは互いに設定量（ ΔL ）異なるように形成されている。また、光入力導波路 12、光出力導波路 16 の太さは互いに等しく形成されている。

【 0 0 0 7 】

なお、光出力導波路 16 は、例えばアレイ導波路回折格子型光合分波器によって分波される互いに異なる波長の信号光の数に対応させて設けられるものであり、アレイ導波路 14 を構成するチャンネル導波路 14 a は、通常、例えば 100

本といったように多数設けられるが、同図においては、図の簡略化のために、これらのチャンネル導波路 1 4 a，光出力導波路 1 6 及び光入力導波路 1 2 の本数を簡略的に示してある。

【 0 0 0 8 】

図 2 8 の (a) の鎖線枠 A 内の拡大図の概略図が同図の (b) に示されており、この図に示すように、従来のアレイ導波路回折格子型光合分波器においては、やや曲線形状の光入力導波路 1 2 の出射側が第 1 のスラブ導波路 1 3 の入射側に直接接続されている。また、同様に、第 2 のスラブ導波路 1 5 の出射側に、やや曲線形状の光出力導波路 1 6 の入射側が直接接続されている。

【 0 0 0 9 】

光入力導波路 1 2 には、例えば送信側の光ファイバが接続されて、波長多重光が導入されるようになっており、光入力導波路 1 2 を通って第 1 のスラブ導波路 1 3 に導入された光は、その回折効果によって広がってアレイ導波路 1 4 に入射し、アレイ導波路 1 4 を伝搬する。

【 0 0 1 0 】

アレイ導波路 1 4 を伝搬した光は、第 2 のスラブ導波路 1 5 に達し、さらに、光出力導波路 1 6 に集光されて出力されるが、アレイ導波路 1 4 の隣り合うチャンネル導波路 1 4 a 長さが設定量互いに異なることから、アレイ導波路 1 4 を伝搬した後に個々の光の位相にずれが生じ、このずれ量に応じて集束光の波面が傾き、この傾き角度により集光する位置が決まるため、波長の異なった光の集光位置は互いに異なることになり、その位置に光出力導波路 1 6 を形成することによって、波長の異なった光を各波長ごとに異なる光出力導波路 1 6 から出力できる。

【 0 0 1 1 】

例えば、同図に示すように、1 本の光入力導波路 1 2 から波長 λ_1 ， λ_2 ， λ_3 ， \dots ， λ_n (n は 2 以上の整数) の波長多重光を入力させると、これらの光は、第 1 のスラブ導波路 1 3 で広げられ、アレイ導波路 1 4 に到達し、アレイ導波路 1 4 と第 2 のスラブ導波路 1 5 を通って、前記の如く、波長によって異なる位置に集光され、互いに異なる光出力導波路 1 6 に入射し、それぞれの光出力導

波路 1 6 を通って、光出力導波路 1 6 の出射端から出力される。そして、各光出力導波路 1 6 の出射端に光出力用の光ファイバを接続することにより、この光ファイバを介して、前記各波長の光が取り出される。

【 0 0 1 2 】

このアレイ導波路回折格子型光合分波器においては、回折格子の波長分解能の向上が回折格子を構成するアレイ導波路 1 4 の各チャンネル導波路 1 4 a 長さの差 (ΔL) に比例するために、 ΔL を大きく設計することにより、従来の回折格子では実現できなかった波長間隔の狭い波長多重光の光合分波が可能となり、高密度の光波長多重通信の実現に必要とされている、複数の信号光の光合分波機能、すなわち、波長間隔が 1 nm 以下の複数の光信号を分波または合波する機能を果たすことができる。

【 0 0 1 3 】

上記アレイ導波路回折格子型光合分波器に、前記光合分波器への第 2 の要求特性である中心波長平坦性を持たせ、各光出力導波路 1 6 から出射される光中心波長の 3 dB 帯域幅 (3 dB 通過帯域幅) を広くするために、例えば図 2 4 に示すような構成のアレイ導波路回折格子型光合分波器が提案されている。この提案のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、同図の (a) に示すように、図 2 8 の (a) に示した従来のアレイ導波路回折格子型光合分波器とほぼ同様の導波路構成を有し、図 2 4 の (b) および図 2 5 に示すように、各光入力導波路 1 2 の出射側が特殊な構成と成している。

【 0 0 1 4 】

上記提案のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、特開平 8 - 1 2 2 5 5 7 号に開示されているものであり、各光入力導波路 1 2 の出力端に、スリット状導波路 5 0 を形成している。スリット状導波路 5 0 は、図 2 5 に示すように、テーパ角度 θ で拡幅するテーパ導波路部 2 A を有し、このテーパ導波路部 2 A の中央部に台形状のスリット 1 9 を形成することにより 2 本の狭幅導波路部 8 が間隔を介して配置された構成と成している。狭幅導波路部 8 同士の間隔は、図の左側から右側にかけて (すなわち第 1 のスラブ導波路 1 3 側に向けて)、CW から SW に徐々に広く形成されている。

【 0 0 1 5 】

この提案のアレイ導波路回折格子型光合分波器によれば、特開平 8 - 1 2 2 5 5 7 号に開示されている通り、例えば図 2 6 に示す損失波長特性から分かるように、アレイ導波路回折格子型光合分波器によって合分波する光の 3 d B 帯域幅を広くすることができる。

【 0 0 1 6 】

また、図 1 9 に示すように、アレイ導波路回折格子型光合分波器の光入力導波路 1 2 の出射側に、パラボリックテーパ導波路 2 0 を接続した導波路構成や、図 2 0 に示すように、光入力導波路 1 2 の出射側にマルチモードインターフェース導波路 2 1 を接続した導波路構成が提案されている。

【 0 0 1 7 】

図 1 9 に示す構成は、特開平 0 9 - 2 9 7 2 2 8 号に N T T が提案したアレイ導波路回折格子の構成であり、図 2 0 に示す構成は、US Pat. 5629992 に Bell Communication Research Inc. が提案した Passband Flattening of Integrated Optical Filters に示されている構成である。

【 0 0 1 8 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図 2 4、2 5 に示したような、スリット状導波路 5 0 を有するアレイ導波路回折格子型光合分波器は、構造が単純でないため、製造ばらつきが生じ易く、それに伴い、性能ばらつきも大きくなるといった問題があった。

【 0 0 1 9 】

また、このアレイ導波路回折格子型光合分波器は、上記 3 d B 帯域幅を広くできるものの、波長平坦性を示すもう 1 つの尺度である 1 d B 帯域幅を広くするために、3 d B 帯域幅を広くすると、波長平坦性を示すさらにもう 1 つの尺度であるリップル（例えば図 2 6 の B 部）が大きくなり、かつ、このリップルより 1 d B 帯域幅が 2 つに割れ、結果として 1 d B 帯域幅が狭くなり、さらに、前記光合分波器への第 3 の要求特性である隣接クロストークが大きく劣化することが分かった。

【 0 0 2 0 】

例えば、本発明者は、図 2 5 に示したスリット状導波路 5 0 を有するアレイ導波路型回折格子について、図 2 5 における各長さ ($W 2$ 、 CW 、 SW 等) やアレイ導波路型回折格子の比屈折率差等を以下に示す値として 5 個のアレイ導波路回折格子型光合分波器を試作し、その特性を求めた。

【 0 0 2 1 】

上記試作のアレイ導波路型回折格子は、図 2 5 において、光入力導波路 1 2 の導波路幅 $W 1 = 6.5 \mu m$ 、テーパ導波路部 2 A のテーパ角度 $\theta = 0.4^\circ$ 、テーパ導波路部 2 A と狭幅導波路部 8 との接続部における狭幅導波路部 8 同士の間隔 $CW = 2.0 \mu m$ 、狭幅導波路部 8 と第 1 のスラブ導波路 1 3 との接続部における狭幅導波路部 8 同士の間隔 $SW = 4.0 \mu m$ 、スリット状導波路 5 0 と第 1 のスラブ導波路 1 3 との接続部幅 $W 2 = 15.0 \mu m$ としたものである。

【 0 0 2 2 】

なお、特開平 8 - 1 2 2 5 5 7 号公報には、3 dB 帯域幅を広くする条件として、上記間隔 SW と幅 $W 2$ の比 $SW/W 2$ を 0.2 ~ 0.6 とすることが開示されているので、上記試作のアレイ導波路型回折格子においても、この条件となるように上記間隔 SW と幅 $W 2$ の比 $SW/W 2$ を設定した。

【 0 0 2 3 】

また、上記試作のアレイ導波路型回折格子は、全ての導波路の高さを $6.5 \mu m$ とし、比屈折率差 = 0.8 % とし、さらに、波長間隔 100 GHz (波長 1.55 μm 帯域において約 0.8 nm 間隔) となるようにした。これらの試作のアレイ導波路型回折格子について、その特性を調べた結果を表 1 に示す。

【 0 0 2 4 】

【表 1】

	3dB帯域幅(nm)	1dB帯域幅(nm)	リップル(dB)	隣接クロストーク(dB)
サンプル1	0.59	0.20	1.4	-17
サンプル2	0.56	0.42	0.6	-23
サンプル3	0.51	0.38	0.7	-25
サンプル4	0.63	0.22	1.5	-15
サンプル5	0.50	0.35	0.5	-26

【 0 0 2 5 】

なお、表 1 において、隣接クロストークは、中心波長に対して 0.8 ± 0.1 nm の波長範囲内における最悪クロストークとした。

【 0 0 2 6 】

表 1 から明らかなように、スリット状導波路 50 の設計寸法が同じであるにもかかわらず、5 個のアレイ導波路回折格子型光合分波器（サンプル 1 ～ 5）は、スリット状導波路 50 の製造寸法ばらつきに起因して性能ばらつきが大きく、3 dB 帯域幅が広いものほどリップルが大きく、さらに隣接クロストークが劣化している。なお、サンプル 1、4 は、リップル量が 1 dB を越えており、そのため、1 dB 帯域幅が割れ、1 dB 帯域幅が狭くなっている。

【 0 0 2 7 】

一般に、波長多重光伝送システム側から光合分波器に対して要求されている要求性能は、1 dB 帯域幅が 0.3 ～ 0.4 nm 以上、リップルが 0.5 dB 以下、隣接クロストークが -26 dB 以下とされている。そこで、例えば 1 dB 帯域幅を 0.35 nm 以上、リップルを 0.5 dB 以下、隣接クロストークを -26 dB 以下と規格すると、表 1 のサンプル 1 ～ 5 のうち、4 個は不良となっており、歩留まりは 1/5 となってしまう。また、この規格のうち、1 dB 帯域幅のみを 0.4 nm 以上とした場合、表 1 のサンプル 1 ～ 5 は、いずれも不良となってしまう。

【 0 0 2 8 】

そこで、本発明者は、前記光合分波器に対する第 1 ～ 第 3 の要求特性を満足できるアレイ導波路回折格子型光合分波器の構成を見出すために、図 25 に示した構成を備えたアレイ導波路回折格子型光合分波器において、スリット状導波路 50 の出力端から第 1 のスラブ導波路 13 に入射する光の電界振幅分布（光振幅）を周知のビーム伝搬法によりシミュレートし、その結果から、以下の着想を得た。

【 0 0 2 9 】

すなわち、上記光電界振幅分布は、図 27 に示すように二山形状を呈しており、2 つの山の間隔 c が広くなると 3 dB 帯域幅が広がる。したがって、間隔 c

の変動を受けて 3 dB 帯域幅が大きく変動する。また、2つの山の間（電界振幅分布の中央部分）の落ち込み部分 b が大きくなるとリップルが大きくなる。さらに、間隔 c を広くすると、必然的に落ち込み部分 b が大きくなることが分かった。また、3 dB 帯域が広くなると、リップルが大きくなり、例えば 1 dB を越え、1 dB 帯域が割れ、1 dB 帯域幅が狭くなってしまう。

【 0 0 3 0 】

したがって、図 2 4、2 5 に示した提案の構成においては、2つの山の間隔 c が広くなるように設計すれば 3 dB 帯域幅を大きくできる反面、リップルも大きくなり、そのため 1 dB 帯域幅が小さくなってしまうことになる。

【 0 0 3 1 】

また、なだらかな裾の部分 a 1、a 2 の影響を受けて、隣接クロストークの劣化が起こると推論した。

【 0 0 3 2 】

そして、この推論に基づき、アレイ導波路回折格子型光合分波器の光入力導波路側から第 1 のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布が、第 1 のスラブ導波路の入射面において以下の形状の電界振幅分布となるようにすれば、1 dB 帯域幅を大きくし、かつ、リップルを小さくし、さらに、隣接クロストークの劣化を抑制できると考えた。

【 0 0 3 3 】

すなわち、上記第 1 のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布を、図 2 7 における落ち込み部分 b が小さく、図 2 7 における間隔 c（両端側の山の間隔）が大きく、かつ、図 2 7 に示したような、なだらかな裾野部分 a 1、a 2 が生じない形状の光電界振幅分布形状となるようにすれば、上記効果を発揮できると考えた。

【 0 0 3 4 】

なお、図 2 5 に示した構成において、特に、2本の狭幅導波路部 8 の導波路幅や相互の間隔が大きいと、1 dB 帯域幅、リップル、隣接クロストークのばらつきを大きく左右することも分かったので、光入力導波路の出射側の光導波回路構成は、同図に示したようなスリットを有していない導波路構成を有するものが好

ましいと考えた。

【 0 0 3 5 】

また、本発明者は、図 1 9、2 0 に示した構成の従来例においても、光の電界振幅分布をビーム伝搬法によりシミュレーションにより求めた。なお、このシミュレーションに際し、光入力導波路 1 2 の幅 $W 1 = 6.5 \mu m$ 、パラボリックテーパ導波路 2 0 の長さ $L 8 = 900 \mu m$ 、パラボリックテーパ導波路 2 0 の出力端幅 $W 8 = 50 \mu m$ 、マルチモードインターフェース導波路 2 1 の長さ $L 9 = 500 \mu m$ 、マルチモードインターフェース導波路 2 1 の幅 $W 9 = 25 \mu m$ とした。

【 0 0 3 6 】

その結果、図 1 9 の構成における光電界振幅分布は図 2 1 に示すようになり、図 2 0 の構成における光電界振幅分布は図 2 2 に示すようになった。

【 0 0 3 7 】

図 2 1 に示すように、パラボリックテーパ導波路 2 0 を有する構成における光電界振幅分布は二山から一山になる。また、図 2 2 に示すように、マルチモードインターフェース導波路 2 1 を有する構成における光電界振幅分布は、その出射端において三山形状となっているが、この形状は、図 2 3 に示すように、裾野部分 $a 1$ 、 $a 2$ の立ち上がりが悪いことが分かった。

【 0 0 3 8 】

さらに、パラボリックテーパ導波路 2 0 は、斜辺が曲線であるために、設計通り形成することが難しく、製造歩留まりが悪いことも分かった。

【 0 0 3 9 】

したがって、図 1 9、2 0 に示した提案の構成においても、前記光合分波器に対する第 1 ～第 3 の要求特性を満足することはできないことが分かった。

【 0 0 4 0 】

本発明は、上記従来課題を解決するためになされたものであり、その目的は、上記 1 d B 帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低く、製造歩留まりの高いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することにある。

【 0 0 4 1 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、第 1 の発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、1 本以上の並設された光入力導波路の出射側に第 1 のスラブ導波路が接続され、該第 1 のスラブ導波路の出射側には該第 1 のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いの長さが設定量異なる複数のチャンネル導波路が並設されて成るアレイ導波路が接続され、該アレイ導波路の出射側には第 2 のスラブ導波路が接続され、該第 2 のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記少なくとも 1 本以上の光入力導波路の出射側と前記少なくとも 1 本以上の光出力導波路の入射側の少なくとも一方には、マルチモードとなる幅のマルチモード導波路が接続されており、該マルチモード導波路の少なくとも一部分にアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する形状の導波路を有している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0042】

また、第 2 の発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、1 本以上の並設された光入力導波路の出射側に第 1 のスラブ導波路が接続され、該第 1 のスラブ導波路の出射側には該第 1 のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いの長さが設定量異なる複数のチャンネル導波路が並設されて成るアレイ導波路が接続され、該アレイ導波路の出射側には第 2 のスラブ導波路が接続され、該第 2 のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記少なくとも 1 本以上の光入力導波路の出射側と前記少なくとも 1 本以上の光出力導波路の入射側の少なくとも一方には、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する斜辺が直線の台形状導波路が接続されており、該台形状導波路は（その幅が台形状導波路の全領域において）対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも広幅と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0043】

また、第 3 の発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、上記第 2 の発明の構成に加え、前記 1 本以上の光入力導波路と台形状導波路の間と、1 本以上の光

出力導波路と台形状導波路の間の少なくとも一方には、直線導波路が介設されており、該直線導波路は対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【 0 0 4 4 】

さらに、第 4 の発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、上記第 2 の発明の構成に加え、前記 1 本以上の光入力導波路と台形状導波路の間と、1 本以上の光出力導波路と台形状導波路の間の少なくとも一方には、対応する台形状導波路の狭幅端の幅と同じ幅の等幅導波路が形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【 0 0 4 5 】

さらに、第 5 の発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、上記第 2 の発明の構成に加え、前記 1 本以上の光入力導波路と台形状導波路の間と、1 本以上の光出力導波路と台形状導波路の間の少なくとも一方には、対応する台形状導波路の狭幅端の幅と同じ幅の等幅導波路が形成されており、この等幅導波路に対応する光入力導波路と光出力導波路の少なくとも一方と等幅導波路の間には、前記対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅の狭幅直線導波路が設けられている構成をもって課題を解決する手段としている。

【 0 0 4 6 】

さらに、第 6 の発明の光導波回路は、シングルモード導波路に、マルチモードとなる幅のマルチモード導波路が接続されており、該マルチモード導波路の少なくとも一部分に光の進行方向に向かうにつれて拡幅する形状のマルチモード拡幅形状導波路を有している構成をもって課題を解決する手段としている。

【 0 0 4 7 】

さらに、第 7 の発明の光導波回路は、上記第 6 の発明の構成に加え、前記マルチモード拡幅形状導波路は台形状導波路である構成をもって課題を解決する手段としている。

【 0 0 4 8 】

本発明者は、上記 1 d B 帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を構成するために、光入力導波路と第

1 のスラブ導波路との接続部構成に着目し、様々に検討を行なった。

【0049】

そして、アレイ導波路回折格子型光合分波器の、少なくとも1本以上の光入力導波路の出射側に、マルチモードとなる幅のマルチモード導波路を接続し、該マルチモード導波路の少なくとも一部分にアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する形状の導波路を有している構成とすることにより、光入力導波路側から第1のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布を、例えば図5に示すような、山の間隔 c' が広く、落ち込み部分 b' が小さく、かつ、裾野部分が切り落とされた形状にできることを見出した。

【0050】

具体的には、例えば上記光入力導波路の出射側に、第1のスラブ導波路側に向かうにつれて拡幅する（例えば斜辺が実質的にほぼ直線の）台形状導波路を接続し、この台形状導波路の上底（光入力導波路側の辺）を光入力導波路の幅よりも広幅として台形状導波路の全領域において光入力導波路幅より広幅とすることにより、第1のスラブ導波路の入射面において、光入力導波路側から第1のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布を、例えば図5に示すような形状にできることを見出した。

【0051】

この理由は、光が台形状導波路に入射したときに規格化周波数を2.4以上となるようにすることにより、光が台形状導波路の幅方向にマルチモード分布として広がり、ついで台形状導波路において光の電界振幅分布を変化させながら伝搬していく。そして、台形状導波路がアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅していることから、光電界振幅分布の裾野部分を切り落としていくようにして（裾野部分の立ち上がりを良好にして）、かつ、光電界振幅分布の山形状の間隔 c' を広くしていくためであると、本発明者は考察している。

【0052】

本発明は、上記検討に基づいて例えば光入力導波路の出射端側に上記台形状導波路等の、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する形状を備えたマルチモード導波路を設けることにより、第1のスラブ導波路の入射面における光入力導波路

側から第 1 のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布を、例えば図 5 に示したように、両端側の山の間隔 c' が大きく、かつ、図 2 7 に示したような、なだらかな裾野部分 a_1 、 a_2 が生じない形状とすることができ、それにより、1 dB 帯域幅が広く、リップル b' が小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することが可能となる。

【0053】

特に、本発明において、例えば光入力導波路と台形状導波路との間に光入力導波路幅より狭幅の直線導波路を設けることにより、光入力導波路が曲線部を有していて、光がこの曲線部を伝搬するときに光強度分布の中心位置が光入力導波路幅方向中心位置からずれたとしても、直線導波路を通るときに光強度分布の中心位置を直線導波路中心に移動させることができ、光強度中心を台形状導波路の幅方向中心に入射できるため、台形状導波路を出射する光強度分布形状を全体的に歪みの無いものとする事が可能となる。

【0054】

なお、アレイ導波路回折格子型光合分波器は光回路の相反性を利用して形成されているので、各光出力導波路の入射側に、例えば光出力導波路幅よりも広幅で、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する（例えば斜辺が実質的にほぼ直線の）台形状導波路を接続するといったように、少なくとも一部分にアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する形状の導波路を備えたマルチモード導波路を接続した場合も同様に、1 dB 帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することが可能となる。

【0055】

また、上記本発明の構成は、図 2 5 に示したような複雑な構成を有しておらず、簡単な構成であるため、容易に製造可能で、製造歩留まりの高いアレイ導波路回折格子型光合分波器となる。

【0056】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、本実施形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略

する。図 1 の (a) には、本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第 1 実施形態例の要部構成図が、その動作と共に模式的に示されており、図 1 の (b) には、同図の (a) に示す破線枠 A 内の拡大図が示されている。さらに、この拡大図における 1 本の光入力導波路 1 2 の端部をより具体的に示したものが、図 2 に示されている。

【 0 0 5 7 】

本実施形態例は、図 1 の (a) に示すように、図 2 4、2 8 に示したアレイ導波路回折格子とほぼ同様に構成されており、本実施形態例が従来例および提案例と異なる特徴的なことは、図 1 の (b) および図 2 に示すように、各光入力導波路 1 2 の出射側に、光入力導波路 1 2 の幅よりも狭幅の直線導波路（狭幅直線導波路）1 を接続し、さらに、各直線導波路 1 の出射側に、前記各光入力導波路 1 2 の幅よりも広幅で、かつ、第 1 のスラブ導波路 1 3 側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路 5 を接続したことである。台形状導波路 5 の斜辺 3 は実質的にほぼ直線と成している。

【 0 0 5 8 】

図 2 に示すように、台形状導波路 5 は、対応する各光入力導波路 1 2 の幅 (W_1) よりも広幅 (W_3) の上底 4 を有しており、テーパ角度 θ で拡幅している。そして、このような構成により、台形状導波路 5 の幅は、台形状導波路 5 の全領域において、対応する光入力導波路 1 2 の幅よりも広幅と成している。また、台形状導波路 5 の下底 6 は僅かに曲線状と成しており、この下底 6 の幅は W_4 である。

【 0 0 5 9 】

なお、図 2 に示す光導波回路の構成は、シングルモード導波路としての光入力導波路 1 2 の出射側に、直線導波路 1 を介して台形状導波路 5 を接続した構成であり、台形状導波路 5 は、マルチモードとなる幅のマルチモード導波路として機能し、かつ、光の進行方向に向かうにつれて拡幅する形状のマルチモード拡幅形状導波路として機能する。

【 0 0 6 0 】

また、各直線導波路 1 の幅方向の中心は、対応する台形状導波路 5 の入射端の

幅方向の中心と位置合わせされており、前記各直線導波路 1 は、各直線導波路 1 に接続されている光入力導波路 1 2 を伝搬してきた光信号のパワーの中心を直線導波路 1 の幅方向の中心に移動させて、該光信号パワー中心を台形状導波路 5 の入射端の幅方向の中心に入射させる光パワー中心位置調整手段と成している。直線導波路 1 の幅は W_2 であり、その長さは L_1 である。

【 0 0 6 1 】

本実施形態例において、上記パラメータは、以下のように形成されている。すなわち、光入力導波路 1 2 の幅 $W_1 = 6.5 \mu\text{m}$ 、直線導波路 1 の幅 $W_2 = 3.0 \mu\text{m}$ 、直線導波路 1 の長さ $L_1 = 500 \mu\text{m}$ 、台形状導波路 5 の上底 4 の幅 $W_3 = 20.0 \mu\text{m}$ 、テーパ角度 $\theta = 0.4^\circ$ 、台形状導波路 5 の下底 6 の幅 $W_4 = 35.0 \mu\text{m}$ である。また、本実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において約 0.8 nm の波長間隔で（言い換えれば波長間隔 100 GHz で）光波長合分波を行なう機能を有するものとした。

【 0 0 6 2 】

本実施形態例は以上のように構成されており、本実施形態例でも、従来のアレイ導波路回折格子と同様に、光入力導波路 1 2 には、例えば送信側の光ファイバが接続されて、波長多重光が導入されるようになっているが、本実施形態例では、光入力導波路 1 2 を通った光は、直線導波路 1 に入射し、直線導波路 1 によって、光パワーの中心が直線導波路 1 の中心に移動させられ、光パワーの中心が台形状導波路 5 の幅方向の中心に入射する。

【 0 0 6 3 】

そして、前記規格化周波数（ V 値）を 2.4 以上とすることにより、台形状導波路 5 に入射された光は導波路幅方向にマルチモード分布として広がり、ついで、台形状導波路 5 において光電界振幅分布を変化させながら進行していく。そして、台形状導波路 5 が第 1 のスラブ導波路 1 3 側に向かうにつれて拡幅していることから、光電界振幅分布の裾野部分は光の進行に伴って切り落とされながら、光電界振幅分布は全体として分布幅を広げながら進行していくと考えられる。

【 0 0 6 4 】

図 4 には、この光電界振幅分布をシミュレーションした結果が示されている。

同図に示すように、直線導波路 1 から台形状導波路 5 に入射した直後の光電界振幅分布は一山であり、その後、二山形状となり、台形状導波路 5 内で光電界振幅分布形状が変化していった、台形状導波路 5 の出射端（下底 6）では四山形状になっている。

【 0 0 6 5 】

また、図 5 には、台形状導波路 5 の出射端における光電界振幅分布形状が示されており、同図に示す光電界振幅分布は、両端側の山の間隔 c' が大きく、落ち込み部分 b' が小さく、しかも、裾野部分（両端側）の立ち上がりが図 2 7 に示した光電界振幅分布に比較して非常に良好である。

【 0 0 6 6 】

本実施形態例によれば、光入力導波路 1 2 の出射側に、直線導波路 1 と台形状導波路 5 を接続することにより、光電界振幅分布を上記のように変化させ、台形状導波路 5 の出射端（言い換えれば第 1 のスラブ導波路 1 3 の入射面）における光の電界振幅分布を、図 5 に示すような四山の形状にでき、1 dB 帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することができる。

【 0 0 6 7 】

また、図 4 から明らかなように、上記光電界振幅分布は台形状導波路 5 の長手方向で変化していくので、台形状導波路 5 の長さを適宜設定することにより、台形状導波路 5 の出射端における光電界振幅分布形状を可変できる。したがって、本実施形態例の構成において、アレイ導波路回折格子型光合分波器の仕様などに応じて、台形状導波路 5 の長さや幅、テーパ角度 θ を設定することにより、上記特性を有するアレイ導波路回折格子型光合分波器を仕様に合わせて製造することができる。

【 0 0 6 8 】

さらに、本実施形態例は、図 2 5 に示した構成と異なり、各光入力導波路 1 2 の出射側に、直線導波路 1 と、第 1 のスラブ導波路 1 3 側に向かうにつれて拡幅する斜辺 3 が実質的にほぼ直線の台形状導波路 5 を接続した簡単な構成であるため、容易に製造可能で、製造歩留まりの高いアレイ導波路回折格子型光合分波器

とすることができる。

【 0 0 6 9 】

(実施例)

以下、上記第 1 実施形態例の実施例について説明する。まず、上記第 1 実施形態例の構成のアレイ導波路回折格子型光合分波器を、以下の製造方法によって製造した。すなわち、Si 基板の上に火炎堆積法によって下部クラッド層 (SiO_2 が主成分)、コア層 (例えば GeO_2 を添加した SiO_2 が主成分) を順次積層透明ガラス化し、ついで、フォトリソグラフィとドライエッチングにより、図 1 に示した導波路構成をコアにより形成した。その後、火炎堆積法により上部クラッド層 (SiO_2 が主成分) を積層した後、全体を加熱して透明ガラス化して光合分波器とした。

【 0 0 7 0 】

そして、このアレイ導波路回折格子型光合分波器を実施例 1 として、その光通過スペクトルを測定し、損失波長特性を求めた。その結果が図 3 に示されており、このアレイ導波路回折格子型光合分波器における 1 dB 帯域幅は 0.7 nm、リップルは 0.2 dB、隣接クロストークは -28 dB となった。

【 0 0 7 1 】

これらの各値を表 1 に示した提案例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における各値と比較すると明らかなように、実施例 1 のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、上記各値が非常に良好な値で、合分波する光の中心波長付近における波長平坦性が優れ、かつ、隣接クロストークが低い、光合分波器として優れた特性を有することが確認できた。

【 0 0 7 2 】

また、上記と同様の製造方法によって、表 2 に示すパラメータを有し、上記実施形態例と同様の導波路構成を有する 3 つのアレイ導波路回折格子型光合分波器を製造し、実施例 2～4 とした。なお、これらのアレイ導波路回折格子型光合分波器も、波長 1.55 μm 帯において約 0.8 nm の波長間隔で光合分波を行なうものである。

【 0 0 7 3 】

【表 2】

	実施例2	実施例3	実施例4
光入力導波路12の幅 $W1(\mu m)$	6.5	6.5	6.5
直線導波路1の幅 $W2(\mu m)$	3.0	3.0	3.0
直線導波路1の長さ $L1(\mu m)$	500	500	500
台形状導波路5の上底4の幅 $W3(\mu m)$	9.0	11.5	12.0
台形状導波路5の角度 $\theta(^{\circ})$	0.4	0.4	0.4
台形状導波路5の出力端幅 $W4(\mu m)$	29.6	24.8	27.2

【0074】

そして、表2に示した実施例4において、上記実施形態例と同様に、光電界振幅分布をシミュレーションした結果、図6に示すように、台形状導波路5内で光電界振幅分布形状が変化し、台形状導波路5の出射端（下底6）では二山形状になった。また、台形状導波路5の出射端における光電界振幅分布形状は、図7に示すようになり、同図に示す光電界振幅分布は、山の間隔 c' が大きく、落ち込み部分 b' が小さく、しかも、裾野部分（両端側）の立ち上がりが図27に示した光電界振幅分布に比較して非常に良好であることが分かった。

【0075】

そして、実施例2～4について、損失波長特性を測定したところ、表3に示す結果が得られ、いずれも、その特性は、前記提案例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における損失波長特性（図26）に比べて良好であることが分かった。

【0076】

【表 3】

	1dB帯域幅(nm)	リップル(dB)	隣接クロストーク(dB)
実施例2	0.47	0.2	-29
実施例3	0.44	0.3	-27
実施例4	0.52	0.3	-28

【0077】

なお、台形状導波路5の下底6における光電界振幅分布は、上記実施例1においては四山形状であったのに対し、上記実施例4においては二山形状であったが

、実施例 4 においても、その山の間隔 c' は大きく、落ち込み部分 b' が小さく、裾野部分（両端側）の立ち上がりが良好である。そのため、表 3 に示したように、実施例 4 においても、1 dB 帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することができる。

【0078】

次に、実施例 2 の寸法を設計値として 3 つのアレイ導波路回折格子型光合分波器を製造し、それぞれにおける損失波長特性を測定したところ、表 4 に示す結果が得られ、製造ばらつきが非常に小さいことが確認された。なお、これらの光合分波器を、表 4 においては、第 1 ～ 第 3 の光合分波器として示した。また、光合分波器 1 ～ 3 の特性も、提案例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における損失波長特性に比べて良好である。

【0079】

【表 4】

	1dB帯域幅(nm)	リップル(dB)	隣接クロストーク(dB)
第1の光合分波器	0.48	0.2	-29
第2の光合分波器	0.47	0.3	-30
第3の光合分波器	0.49	0.3	-28

【0080】

そして、例えば 1 dB 帯域幅が 0.35 nm 以上、リップルが 0.5 dB 以下、隣接クロストークが -26 dB 以下を規格とした場合も、この規格のうち 1 dB 帯域幅を 0.4 nm 以上とした場合も、表 4 に示した全てのアレイ導波路回折格子型光合分波器が合格となっている。

【0081】

以上のように、各実施例によって、上記第 1 実施形態例の有効性がより一層確実に確認できた。

【0082】

次に、本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第 2 実施形態例について説明する。なお、本第 2 実施形態例の説明において、上記第 1 実施形態例との重複説明は省略する。図 8 には、本第 2 実施形態例のアレイ導波路回折格子型

光合分波器における光入力導波路 1 2 の出射側と第 1 のスラブ導波路 1 3 との接続構造が示されている。本第 2 実施形態例は上記第 1 実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第 2 実施形態例が上記第 1 実施形態例と異なる特徴的なことは、直線導波路 1 を省略し、光入力導波路 1 2 の出射側に台形状導波路 5 を直接接続したことである。

【 0 0 8 3 】

本実施形態例では、光入力導波路 1 2 を伝搬する光強度の中心位置が光入力導波路 1 2 の幅方向中心位置からずれないように設計しており、したがって、上記第 1 実施形態例に設けた直線導波路 1 を省略しても、台形状導波路 5 によって光電界振幅分布を適切に変化させ、上記第 1 実施形態例と同様の作用により同様の効果を奏することができる。

【 0 0 8 4 】

なお、本第 2 実施形態例において、光入力導波路 1 2 の幅 $W_1 = 6.5 \mu\text{m}$ 、台形状導波路 5 の上底 4 の幅 $W_3 = 20.0 \mu\text{m}$ 、テーパ角度 $\theta = 0.4^\circ$ 、台形状導波路 5 の下底 6 の幅 $W_4 = 35.0 \mu\text{m}$ とした場合の、光電界振幅分布シミュレーション結果が図 9 に示されており、台形状導波路 5 の下底 6 における光電界振幅分布形状が図 10 に示されている。これらの図に示すように、本第 2 実施形態例でも上記第 1 実施形態例と同様に、台形状導波路 5 の出射端における光の電界振幅分布を、山の間隔 c' が大きく、落ち込み部分 b' が小さく、裾野の立ち上がりが良好な形状にできる。

【 0 0 8 5 】

そのため、本第 2 実施形態例も上記第 1 実施形態例と同様に、1 dB 帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができる。

【 0 0 8 6 】

次に、本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第 3 実施形態例について説明する。なお、本第 3 実施形態例の説明において、上記第 1、第 2 実施形態例との重複説明は省略する。図 11 の (a)、(b) には、本第 3 実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における光入力導波路 1 2 の出射側と第 1

のスラブ導波路 1 3 との接続構造が示されている。

【 0 0 8 7 】

本第 3 実施形態例は上記第 1 実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第 3 実施形態例が上記第 1 実施形態例と異なる特徴的なことは、直線導波路（狭幅直線導波路）1 の出射側と台形状導波路 5 との間に、台形状導波路 5 の狭幅端（上底 4）と等幅の等幅導波路 9 を形成したことである。本第 3 実施形態例は、この構成により、等幅導波路 9 と台形状導波路 5 とによって前記マルチモード導波路を形成している

【 0 0 8 8 】

本第 3 実施形態例は、上記第 1 実施形態例とほぼ同様に構成されていることから、直線導波路 1 によって、光パワーの中心を直線導波路 1 の中心に移動させて等幅導波路 9 の幅方向の中心に入射し、前記規格化周波数（V 値）を 2. 4 以上とすることにより、等幅導波路 9 に入射した光を導波路幅方向にマルチモード分布として広げ、ついで、台形状導波路 5 において、上記第 1 実施形態例と同様に光電界振幅分布を変化させながら進行させることができる。

【 0 0 8 9 】

なお、図 1 2 には、この第 3 実施形態例において、光入力導波路 1 2 の幅 $W_1 = 6.5 \mu\text{m}$ 、直線導波路 1 の幅 $W_2 = 3.0 \mu\text{m}$ 、直線導波路 1 の長さ $L_1 = 500 \mu\text{m}$ 、等幅導波路 9 の幅（台形状導波路 5 の上底 4 の幅） $W_3 = 20.0 \mu\text{m}$ 、等幅導波路 9 の長さ $L_2 = 250 \mu\text{m}$ 、テーパ角度 $\theta = 0.4^\circ$ 、台形状導波路 5 の下底 6 の幅 $W_4 = 35.0 \mu\text{m}$ とした場合の、光電界振幅分布シミュレーション結果が示されており、台形状導波路 5 の出射端（下底 6）における光電界振幅分布形状が図 1 3 に示されている。

【 0 0 9 0 】

これらの図に示すように、本第 3 実施形態例では、直線導波路 1 から等幅導波路 9 に入射した直後の光電界振幅分布は一山であり、その後、二山形状となり、台形状導波路 5 内で光電界振幅分布形状が変化していった、台形状導波路 5 の出射端（下底 6）では三山形状になっている。そして、本第 3 実施形態例でも上記第 1 実施形態例と同様に台形状導波路 5 の出射端における光の電界振幅分布を、

山の間隔 c' が大きく、図 2 7 に比べて落ち込み部分 b' が小さく、裾野の立ち上がりが良好な形状にできる。

【 0 0 9 1 】

したがって、本第 3 実施形態例も、上記第 1 実施形態例と同様の作用によって同様の効果を奏することができる。

【 0 0 9 2 】

(実施例)

以下、上記第 3 実施形態例の実施例について説明する。上記第 1 実施形態例の実施例と同様の製造方法によって、第 3 実施形態例の構成のアレイ導波路回折格子型光合分波器を製造し、実施例 5 ～ 7 とした。なお、各実施例 5 ～ 7 は、表 5 に示すパラメータを有し、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において約 0.8 nm の波長間隔で光合分波を行なうものである。

【 0 0 9 3 】

【表 5】

	実施例 5	実施例 6	実施例 7
光入力導波路 12 の幅 $W1 (\mu\text{m})$	6.5	6.5	6.5
直線導波路 1 の幅 $W2 (\mu\text{m})$	3.0	3.0	3.0
直線導波路 1 の長さ $L1 (\mu\text{m})$	500	500	500
等幅導波路 9 の長さ $L2 (\mu\text{m})$	250	250	250
台形状導波路 5 の上底 4 の幅 $W3 (\mu\text{m})$	9.0	11.5	12.0
台形状導波路 5 の角度 $\theta (^\circ)$	0.4	0.4	0.4
台形状導波路 5 の出力端幅 $W4 (\mu\text{m})$	29.6	24.8	27.2

【 0 0 9 4 】

図 1 4 には、実施例 7 のアレイ導波路回折格子型光合分波器について、台形状導波路 5 の出射端における光電界振幅分布をビーム伝搬法でシミュレーションした結果が示されている。この光電界振幅分布は二山形状であるが、山の間隔 c' が大きく、落ち込み部分 b' が小さく、全体として平坦化し、かつ裾野部分は急激な立ち上がりを示している。

【 0 0 9 5 】

また、各実施例 5～7 のアレイ導波路回折格子型光合分波器の光出力導波路 16 における損失波長特性を測定した結果、表 6 に示す結果が得られた。

【 0 0 9 6 】

【表 6】

	1dB帯域幅(nm)	リップル(dB)	隣接クロストーク(dB)
実施例5	0.45	0.1	-28
実施例6	0.44	0.1	-30
実施例7	0.53	0.15	-27

【 0 0 9 7 】

表 6 の各値を表 1 に示した提案例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における各値と比較すると明らかなように、各実施例 5～7 のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、1 dB 通過帯域幅が提案例と同等かそれよりも広く、しかも隣接クロストークの劣化が起こっていない。しかも、各実施形態例 5～7 のアレイ導波路型回折格子は、リップルも 0.15 dB 以下に抑えられていることがわかった。

【 0 0 9 8 】

次に、実施例 5 の寸法を設計値として 3 つのアレイ導波路回折格子型光合分波器を製造し、それぞれにおける損失波長特性を測定したところ、表 7 に示す結果が得られ、製造ばらつきが非常に小さいことが確認された。なお、これらの光合分波器を、表 7 においては、第 4～第 6 の光合分波器として示した。光合分波器 4～6 の特性も、提案例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における損失波長特性に比べて良好であり、例えば -26 dB 以下を合格品の規格値であるとした場合、表 7 に示す全ての光合分波器が合格品になっている。

【 0 0 9 9 】

【表 7】

	1dB帯域幅(nm)	隣接クロストーク(dB)
第4の光合分波器	0.46	-27
第5の光合分波器	0.45	-29
第6の光合分波器	0.44	-28

【0100】

これは、本第3実施形態例における光入力導波路12と第1のスラブ導波路13との接続部の構造が、提案例におけるスリット状導波路50に比べて簡単であり、したがって製造時における寸法諸元のばらつきを小さくすることができることによる。

【0101】

以上のように、実施例5～7によって、上記第3実施形態例の有効性がより一層確実に確認できた。

【0102】

次に、本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器の第4実施形態例について説明する。図15には、この第4実施形態例における光入力導波路12の出射側と第1のスラブ導波路13との接続構造が示されている。本第4実施形態例は、上記第3実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第4実施形態例が上記第3実施形態例と異なる特徴的なことは、直線導波路1を省略したことである。

【0103】

本第4実施形態例は、上記第2実施形態例と同様に、光入力導波路12を伝搬する光強度の中心位置が光入力導波路12の幅方向中心位置からずれないように設計しており、直線導波路1を省略しても、等幅導波路9と台形状導波路5を通すことによって光電界振幅分布を適切に変化させることができる。したがって、本第4実施形態例も、上記第3実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0104】

図16には、本第4実施形態例において、光入力導波路12の幅 $W1 = 6.5 \mu m$ 、等幅導波路9の幅（台形状導波路5の上底4の幅） $W3 = 20.0 \mu m$ 、

等幅導波路 9 の長さ $L_2 = 250 \mu\text{m}$ 、テーパ角度 $\theta = 0.4^\circ$ 、台形状導波路 5 の下底 6 の幅 $W_4 = 35.0 \mu\text{m}$ とした場合の、光電界振幅分布シミュレーション結果が示されており、台形状導波路 5 の下底 6 における光電界振幅分布形状が図 17 に示されている。

【0105】

本第 4 実施形態例でも上記各実施形態例と同様に、台形状導波路 5 の出射端における光の電界振幅分布を、山の間隔 c' が大きく、落ち込み部分 b' が比較的小さく、裾野の立ち上がりが良好な形状にできる。

【0106】

図 18 には、上記パラメータを有する第 4 実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器の通過スペクトルを測定し、損失波長特性を求めた結果が示されており、この損失波長特性の先端部分は非常に平坦な波形となった。また、同図から明らかなように、このアレイ導波路回折格子型光合分波器は、1 dB 通過帯域幅が 0.8 nm、隣接クロストークは -28 dB、リップルは 0.2 dB であり、非常に良好な特性となった。

【0107】

以上のように、上記各実施形態例のような本発明の新たな構成によって初めて、上記優れた効果を奏することができる優れたアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供できることを確認できた。

【0108】

なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく様々な実施の態様を採り得る。例えば、上記各実施形態例では、各光入力導波路 12 の出射側に台形状導波路 5 を設けたが、少なくとも 1 本以上の光入力導波路 12 の出射側に台形状導波路 5 を設けてもよいし、少なくとも 1 本以上の光出力導波路 16 の入射側に第 2 のスラブ導波路 15 に向かうにつれて拡幅する台形状導波路 5 を接続してもよい。また、少なくとも 1 本以上の光入力導波路 12 の出射側と少なくとも 1 本以上の光出力導波路 16 の入射側の両方に上記台形状導波路 5 を設けてもよい。

【0109】

さらに、少なくとも 1 本以上の光出力導波路 16 側に台形状導波路 5 を設ける

場合に、該光出力導波路 1 6 と台形状導波路 5 の間に、上記第 1 実施形態例のような直線導波路 1 を介設してもよい。また、該光出力導波路 1 6 と台形状導波路 5 の間に、上記第 3、4 実施形態例のように、等幅導波路 9 や直線導波路（狭幅直線導波路）1 を形成してもよい。

【0 1 1 0】

なお、光出力導波路 1 6 側に台形状導波路 5 を設ける場合は、台形状導波路 5 の幅を光出力導波路 1 6 の幅よりも広幅と成し、各光出力導波路 1 6 と台形状導波路 5 の間に直線導波路 1 を介設する場合は、該直線導波路 1 の幅を光出力導波路 1 6 の幅よりも狭幅と成すようにする。

【0 1 1 1】

さらに、本発明において、台形状導波路の幅や長さやテーパ角度、直線状導波路の長さや幅、等幅導波路の長さ等は特に限定されるものではなく適宜設定されるものであり、例えば図 4、6、9、12、16 に示したような光電界振幅分布のシミュレーション結果に基づいて、アレイ導波路回折格子型光合分波器の仕様に合わせて上記各値を設定することにより、上記各実施形態例のような優れた効果を奏するアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができる。

【0 1 1 2】

さらに、本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器に適用されるマルチモード導波路は必ずしも台形状導波路を有する構成とするとは限らず、マルチモード導波路は、マルチモードとなる幅を有し、マルチモード導波路の少なくとも一部分にアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する形状の導波路を有している構成とすればよい。

【0 1 1 3】

さらに、上記各実施形態例においては、アレイ導波路回折格子型光合分波器の回路構成の一部分として、例えば図 2、8、11、15 に示したような本発明の光導波回路の構成を適用したが、本発明の光導波回路は、アレイ導波路回折格子型光合分波器以外の回路構成に適用してもよい。

【0 1 1 4】

さらに、本発明の光導波回路に適用されるマルチモード導波路は必ずしも台形

状導波路を有する構成とするとは限らず、マルチモード導波路は、マルチモードとなる幅を有し、マルチモード導波路の少なくとも一部分に光の進行方向に向かうにつれて拡幅する形状のマルチモード拡幅形状導波路を有している構成とすればよい。

【 0 1 1 5 】

【発明の効果】

本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、例えば光入力導波路の出射側に、マルチモードとなる幅のマルチモード導波路を接続し、該マルチモード導波路の少なくとも一部分にアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する形状の導波路を有する構成としたものであり、例えば光入力導波路の出射側に、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する斜辺が実質的にほぼ直線の台形状導波路を接続し、この台形状導波路の幅を光入力導波路幅より広幅とするものである。

【 0 1 1 6 】

上記構成の本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、その上記特徴的な構成により光を台形状導波路の幅方向にマルチモード分布として広げ、アレイ導波路側（第1のスラブ導波路側）に向かうにつれて光電界振幅分布の裾野部分の立ち上がりを良好にし、かつ、光電界振幅分布の山形状の間隔を広くしていくことができると考えられる。

【 0 1 1 7 】

したがって、上記構成の本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器によれば、1 dB帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低い、波長多重用光合分波器として非常に優れた性能のアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができる。また、上記本発明の構成は、簡単な構成であるため、容易に製造可能で、製造歩留まりの高いアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができる。

【 0 1 1 8 】

また、アレイ導波路回折格子型光合分波器は、光回路の相反性を有しているために、本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器において、光出力導波路の入射側に、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する斜辺がほぼ直線の台形状導波

路を接続し、この台形状導波路の幅を光出力導波路幅より広幅とする等、光出力導波路の入射側に、少なくとも一部分にアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する形状の導波路を有するマルチモード導波路を接続した場合も、同様の効果を奏することができる。

【 0 1 1 9 】

また、上記台形状導波路の狭幅端に該狭幅端と同じ幅の等幅導波路を形成したアレイ導波路回折格子型光合分波器においても、上記と同様の効果を奏することができる。

【 0 1 2 0 】

さらに、各光入力導波路と台形状導波路との間に光入力導波路よりも狭幅の直線導波路を介設したり、等幅導波路を形成した構成において狭幅導波路と対応する光入力導波路の間に狭幅直線導波路を設けた本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器によれば、光入力導波路が曲線部を有していて、光がこの曲線部を伝搬するときに光強度分布の中心位置が光入力導波路幅方向中心位置からずれたとしても、直線導波路を通るときに光強度分布の中心位置を直線導波路中心に移動させることができる。したがって、この構成により、光強度中心を台形状導波路の幅方向中心に入射できるため、台形状導波路を出射する光強度分布形状を全体的に歪みの無いものとすることができる。

【 0 1 2 1 】

また、アレイ導波路回折格子型光合分波器は、光回路の相反性を有しているために、台形状導波路と対応する光出力導波路との間に光出力導波路よりも狭幅の直線導波路を介設した本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器や等幅導波路と対応する光出力導波路との間に狭幅直線導波路を介設した本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器においても、上記と同様の効果を奏することができる。

【 0 1 2 2 】

さらに、本発明の光導波回路は、シングルモード導波路に、光の進行方向に向かうにつれて拡幅する形状のマルチモード拡幅形状導波路を有するマルチモード導波路を接続したものであるから、前記シングルモード導波路から出力する光の電界振幅分布の裾野部分の立ち上がりを光の進行方向に向かうにつれて良好にし

、かつ、光電界振幅分布の山形状の間隔を広くしていくことができると考えられ、この構成をアレイ導波路回折格子型光合分波器などの様々な回路構成に適用することにより、例えば分岐する光の平坦性を向上できる等の効果を発揮できる。

【 0 1 2 3 】

また、マルチモード拡幅形状導波路は台形状導波路である本発明の光導波回路においては、非常に簡単な導波路構成で、上記効果を効率的に発揮することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第 1 実施形態例を模式的に示す構成図である。

【図 2】

上記実施形態例における光入力導波路の出力端側構成を具体的に示す説明図である。

【図 3】

上記第 1 実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器の実施例 1 における波長損失特性を示すグラフである。

【図 4】

上記実施形態例における光入力導波路と直線導波路と台形状導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図 5】

上記実施形態例における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図 6】

上記実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器の実施例 4 における光入力導波路と直線導波路と台形状導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図 7】

上記実施例 4 における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグ

ラフである。

【図 8】

本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第 2 実施形態例における光入力導波路出力端側構成を示す説明図である。

【図 9】

上記第 2 実施形態例における光入力導波路と台形状導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図 1 0】

上記第 2 実施形態例における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図 1 1】

本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第 3 実施形態例における光入力導波路出力端側構成（a）と、その具体的構成（b）の模式図である。

【図 1 2】

上記第 3 実施形態例における光入力導波路から台形状導波路に至る導波路を伝搬する光電界振幅分布例を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図 1 3】

上記第 3 実施形態例における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図 1 4】

上記第 3 実施形態例の実施例 5 における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図 1 5】

本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第 4 実施形態例における光入力導波路出力端側構成を示す説明図である。

【図 1 6】

上記第 4 実施形態例における光入力導波路と等幅導波路と台形状導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図 1 7】

上記第 4 実施形態例における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図 1 8】

上記第 4 実施形態例における波長損失特性を示すグラフである。

【図 1 9】

従来提案されているアレイ導波路回折格子型光合分波器における光入力導波路の出力端側構成例を示す説明図である。

【図 2 0】

従来提案されているアレイ導波路回折格子型光合分波器における光入力導波路の出力端側構成の別の例を示す説明図である。

【図 2 1】

図 1 9 に示した構成における光入力導波路とパラボリックテーパ導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図 2 2】

図 2 0 に示した構成における光入力導波路とマルチモードインターフェース導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図 2 3】

図 2 0 に示した構成におけるマルチモードインターフェース導波路出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図 2 4】

従来提案されているアレイ導波路回折格子型光合分波器の一例を示す説明図である。

【図 2 5】

図 2 4 に示したアレイ導波路回折格子型光合分波器における光入力導波路の出力端側構成を示す説明図である。

【図 2 6】

図 2 4 に示したアレイ導波路回折格子型光合分波器の波長損失特性例を示す説明図である。

【図 2 7】

図 2 4、2 5 に示した構成のスリット状導波路 5 0 の出力端側における光電界振幅分布を示すグラフである。

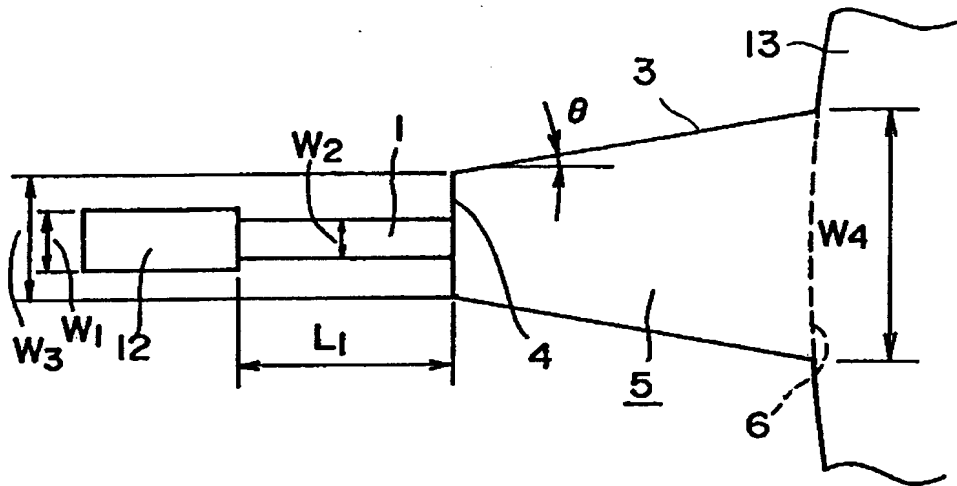
【図 2 8】

従来の一般的なアレイ導波路回折格子型光合分波器の構成を示す説明図である。

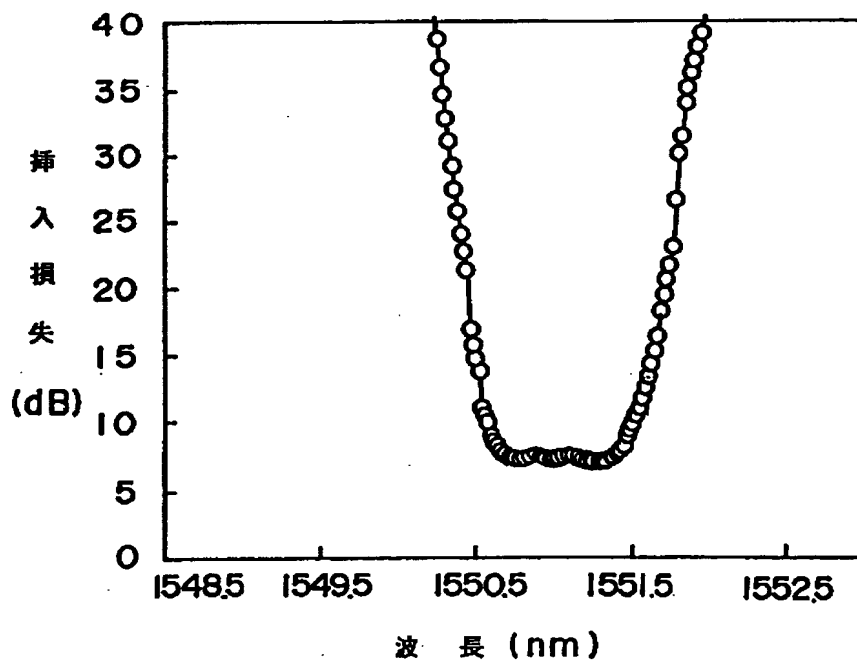
【符号の説明】

- 1 直線導波路（狭幅直線導波路）
- 3 斜辺
- 4 上底
- 5 台形状導波路
- 6 下底
- 9 等幅導波路
- 1 1 基板
- 1 2 光入力導波路
- 1 3 第 1 のスラブ導波路
- 1 4 アレイ導波路
- 1 5 第 2 のスラブ導波路
- 1 6 光出力導波路

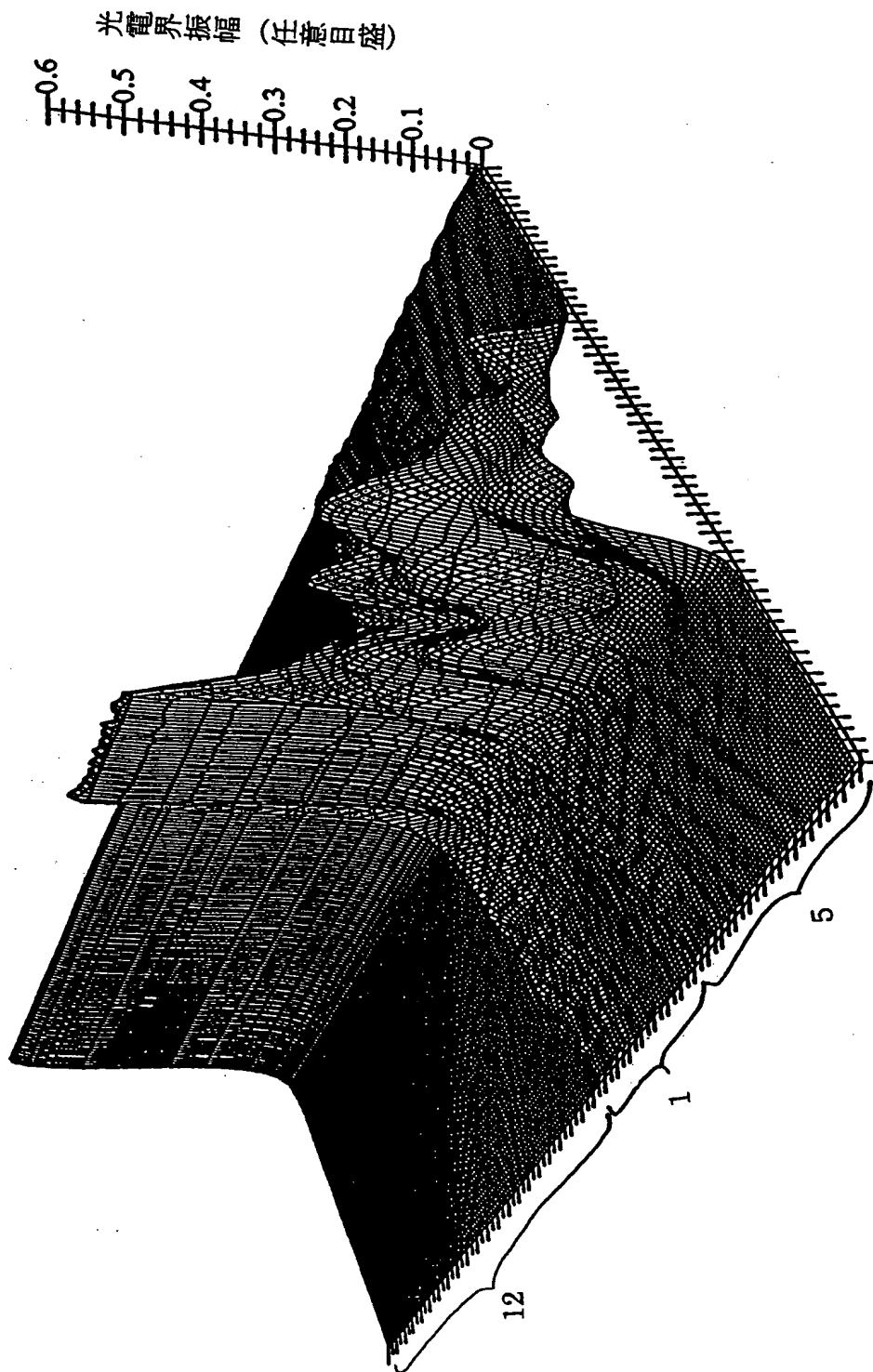
【図 2】



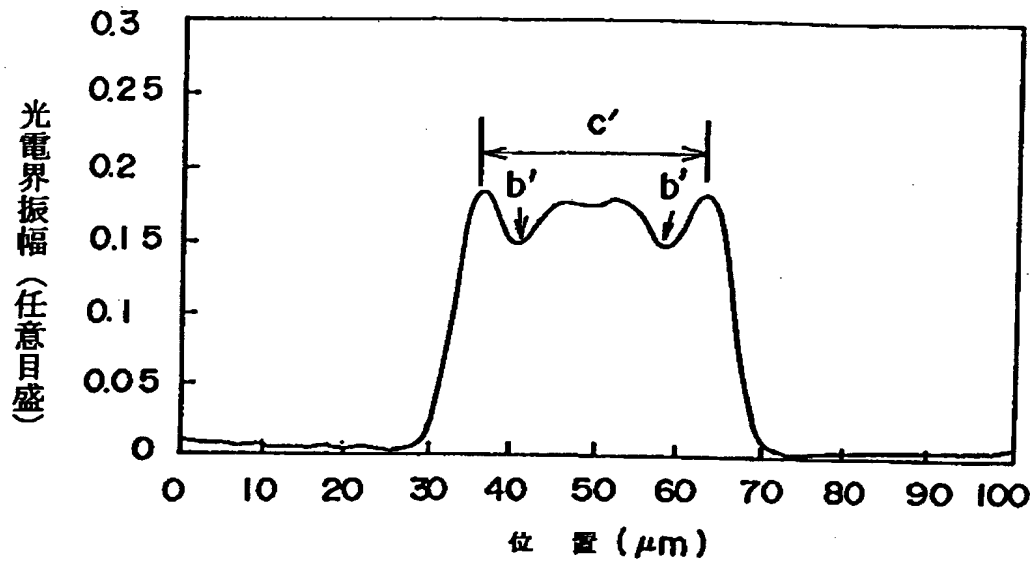
【図 3】



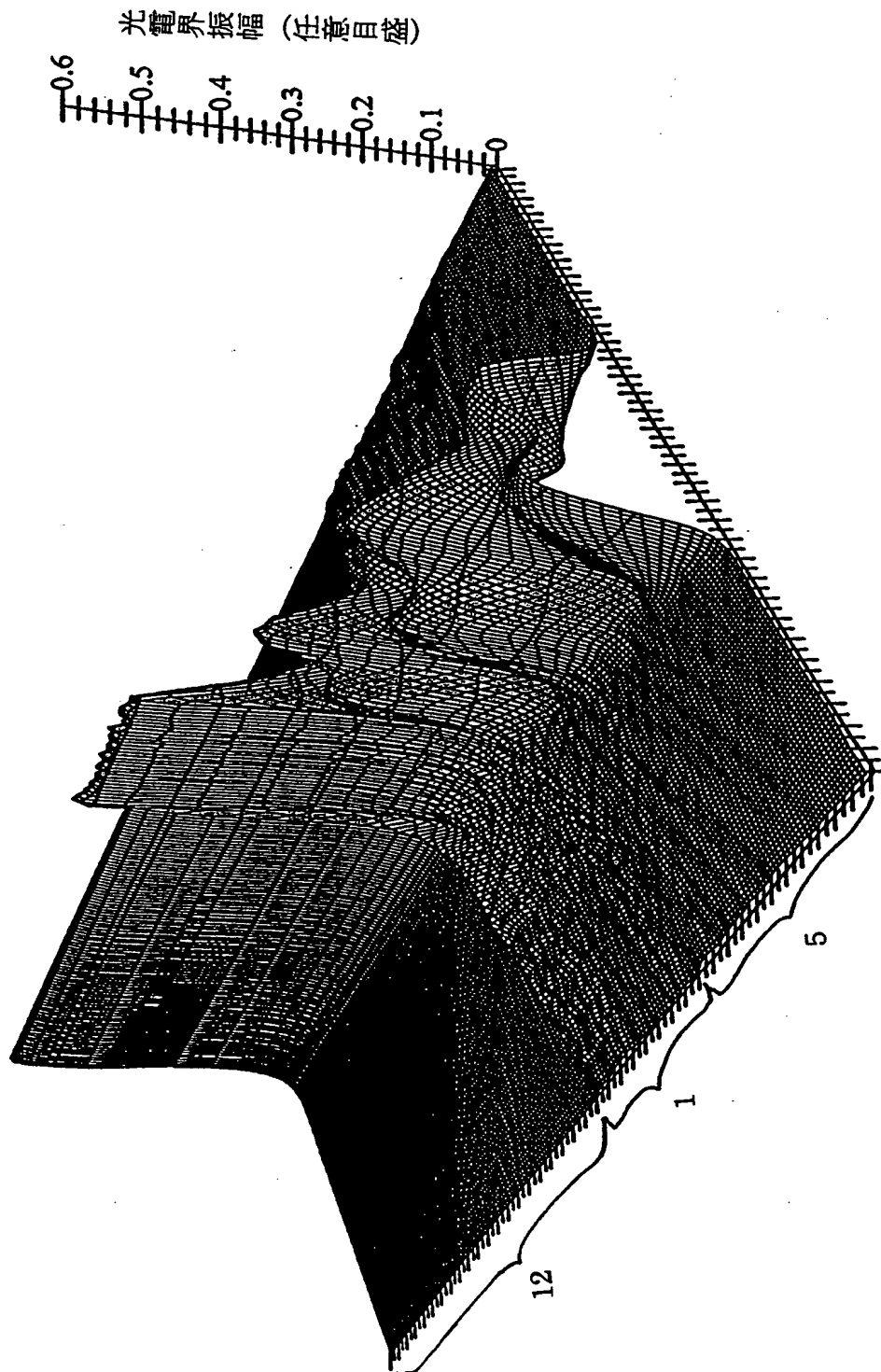
【図4】



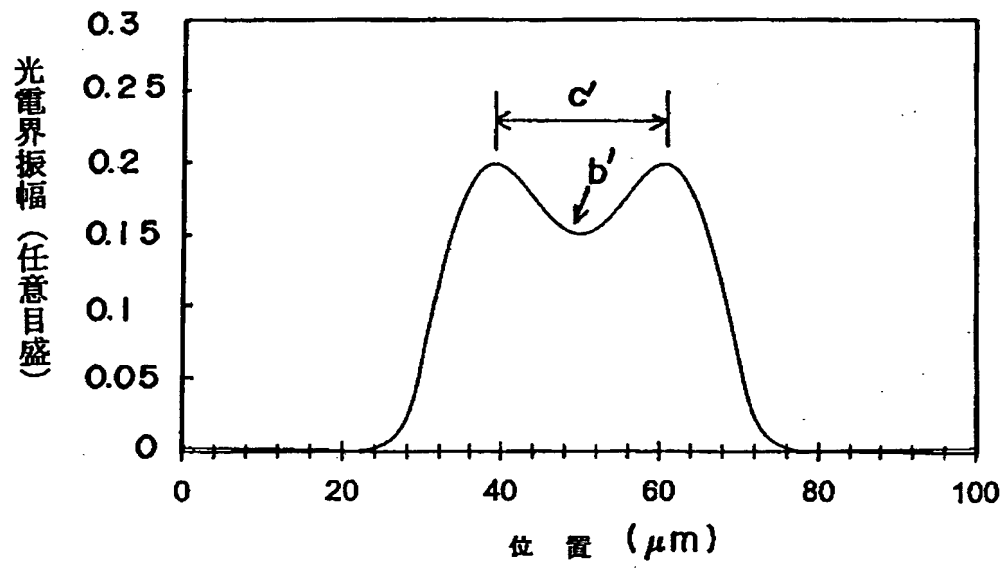
【図 5】



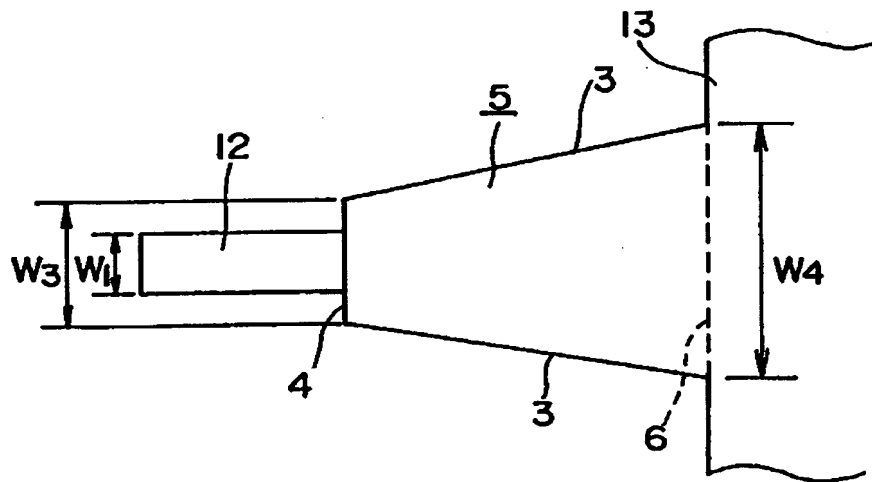
【図6】



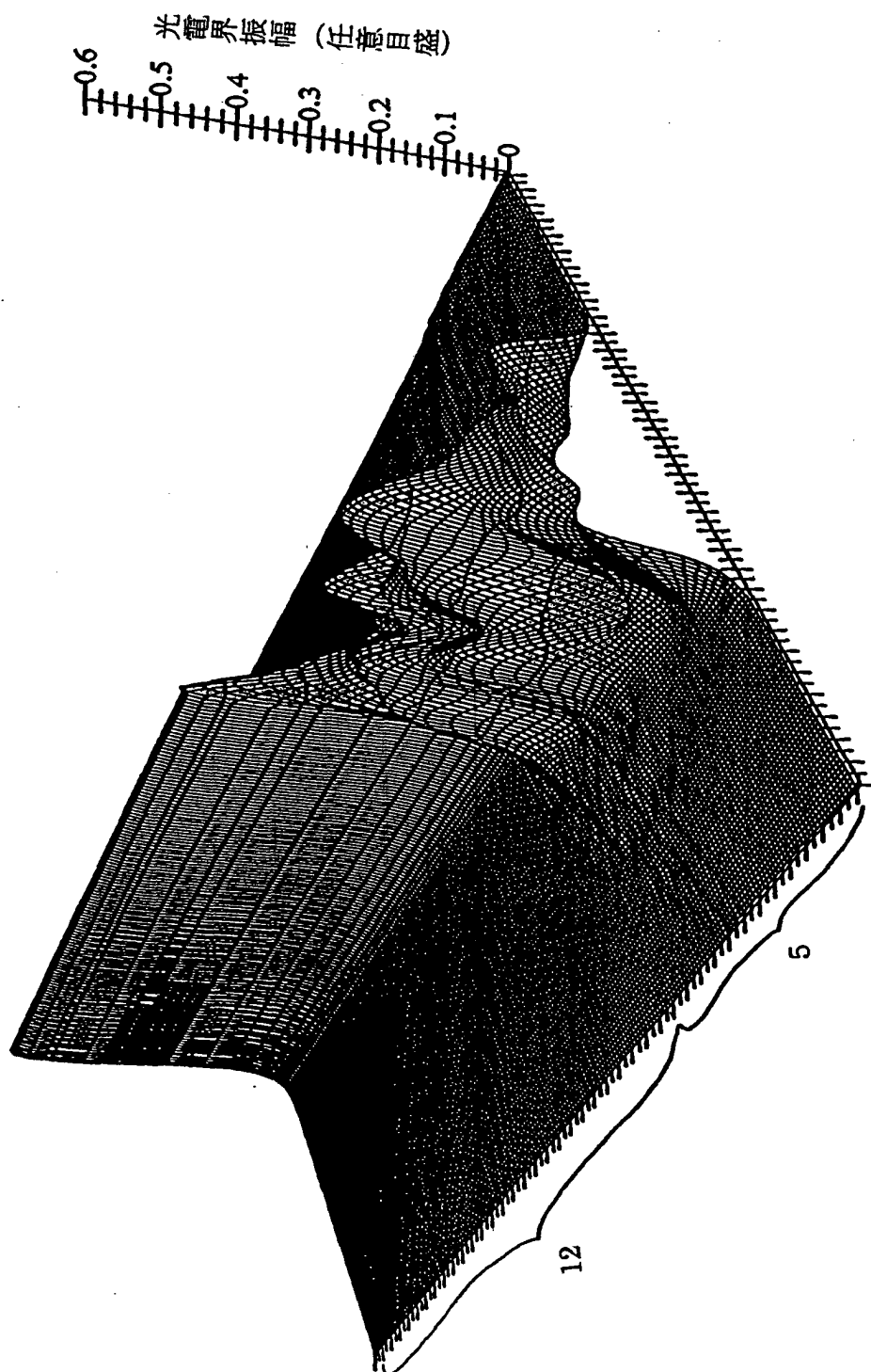
【図 7】



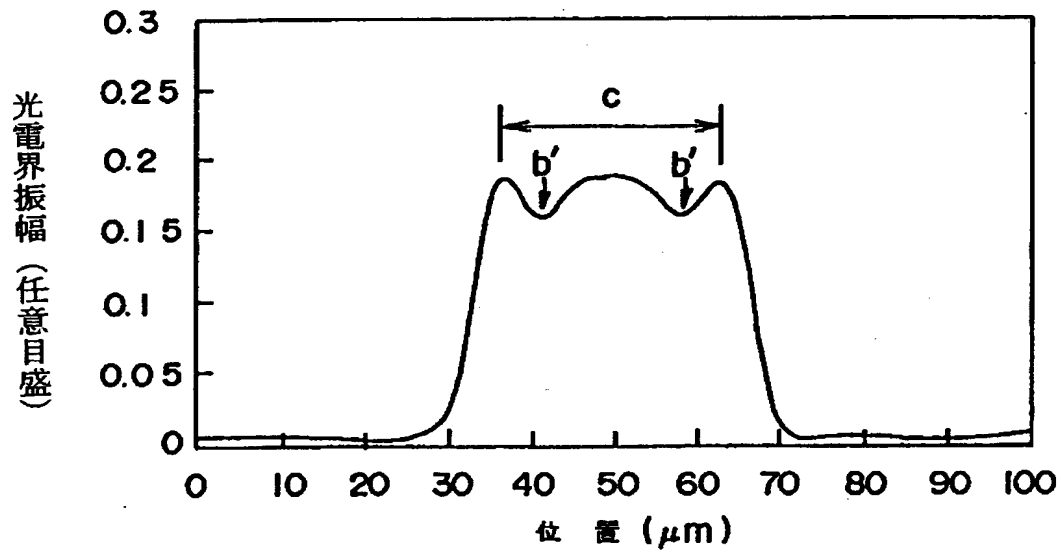
【図 8】



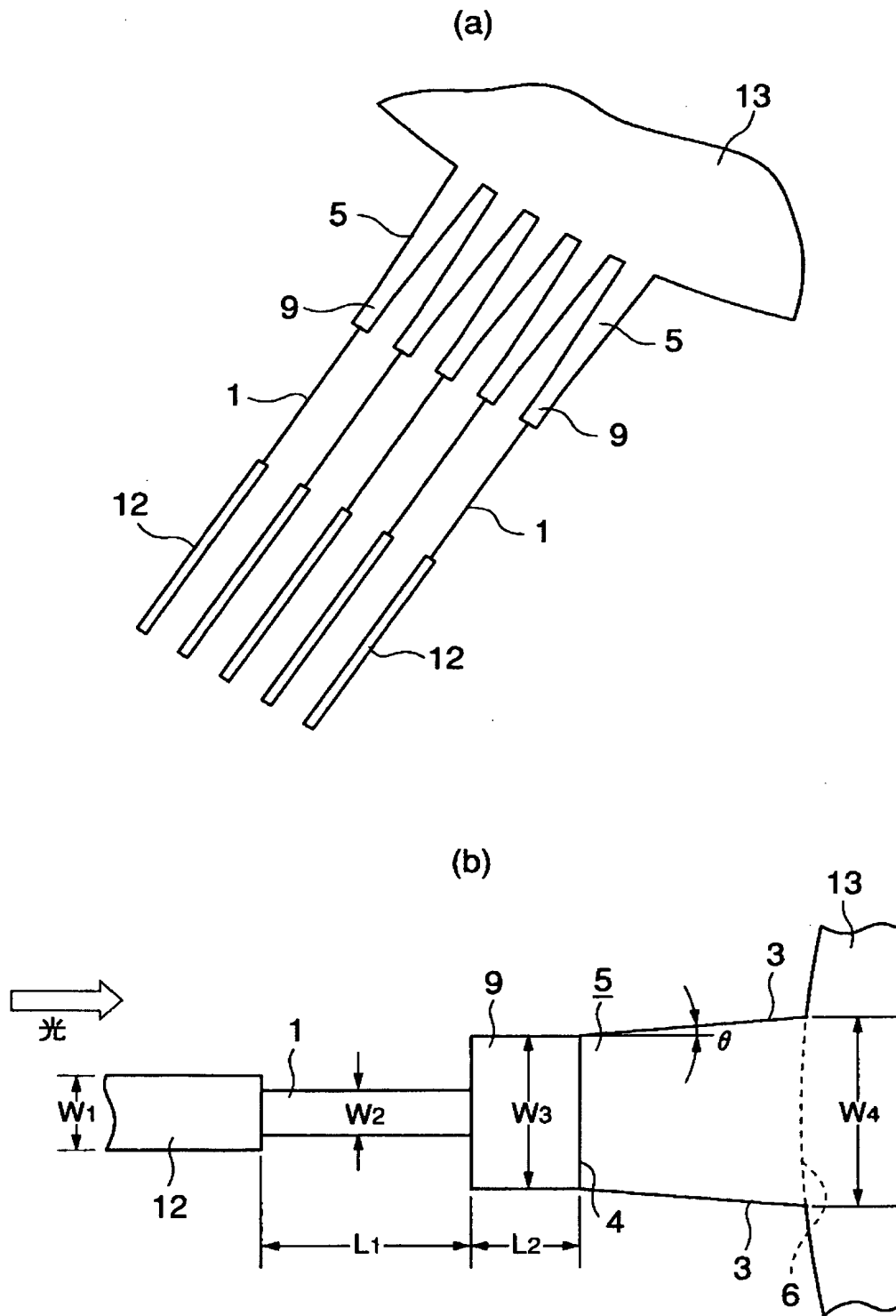
【図9】



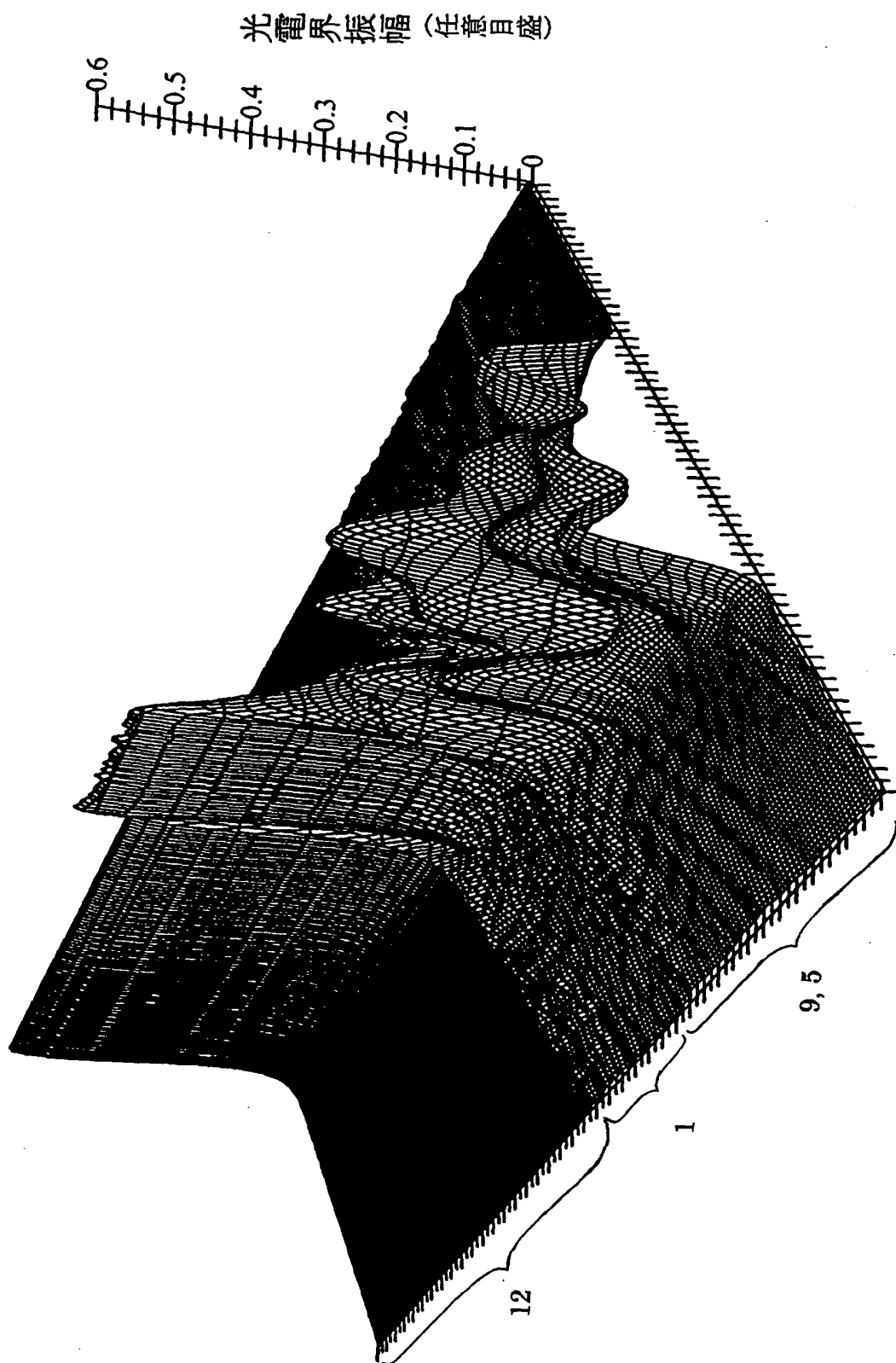
【図 1 0】



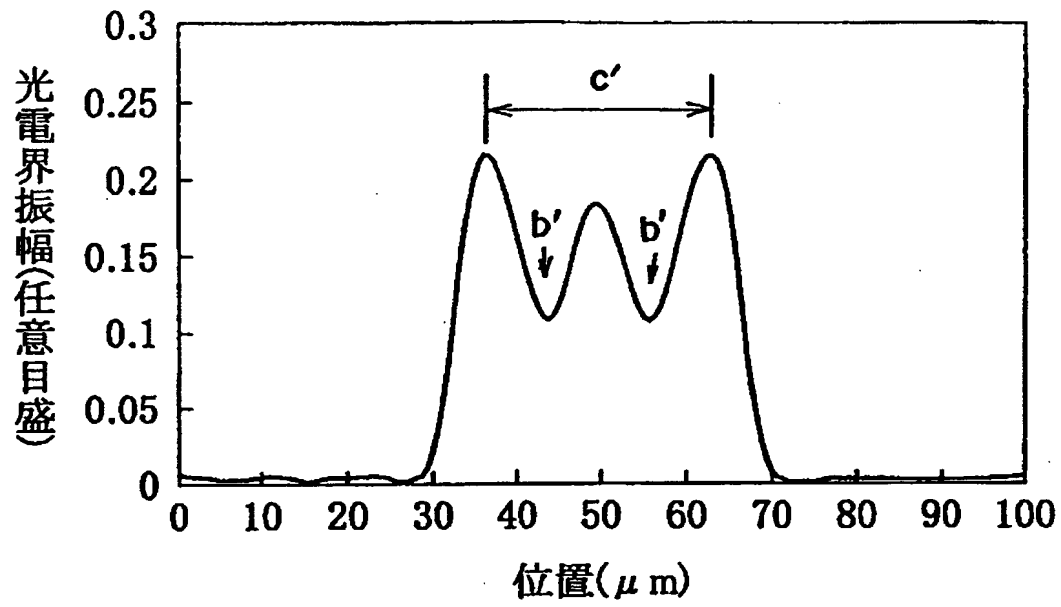
【図 11】



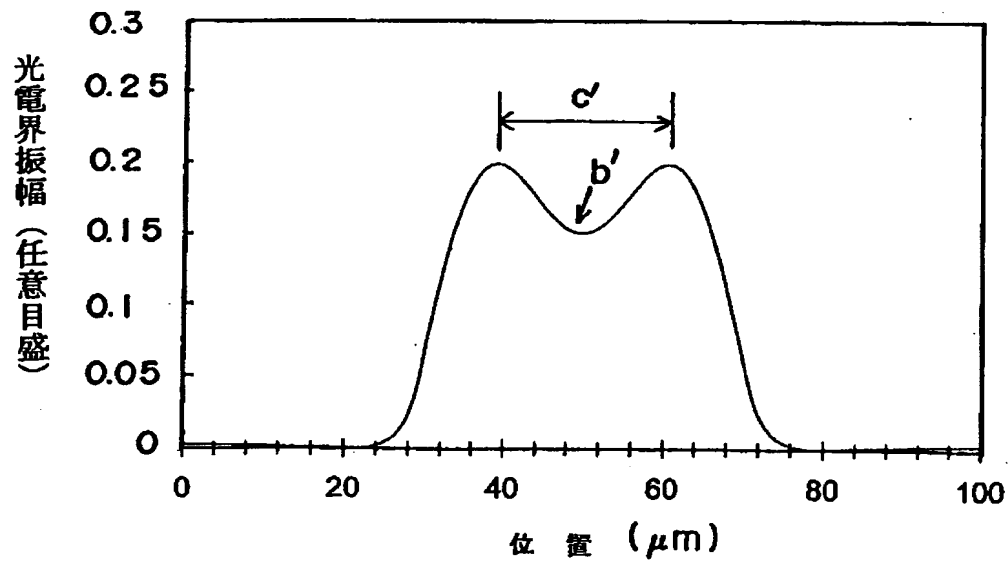
【図12】



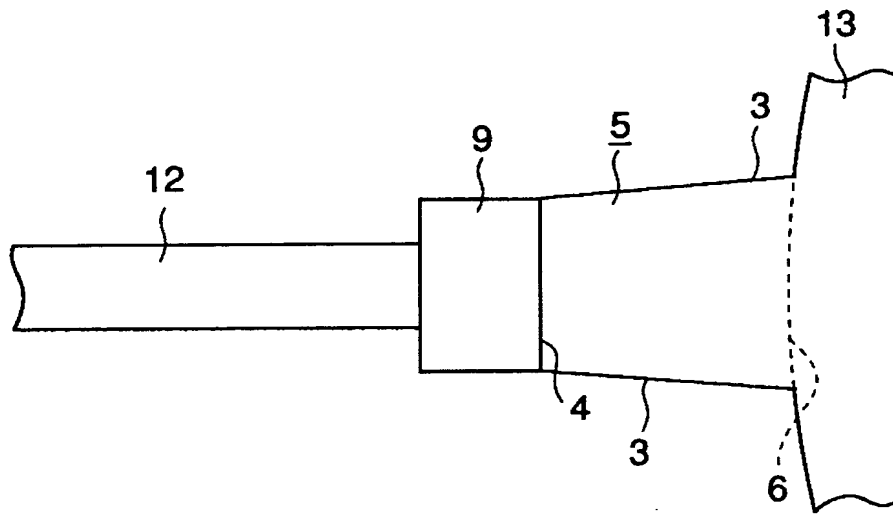
【図 1 3】



【図 1 4】

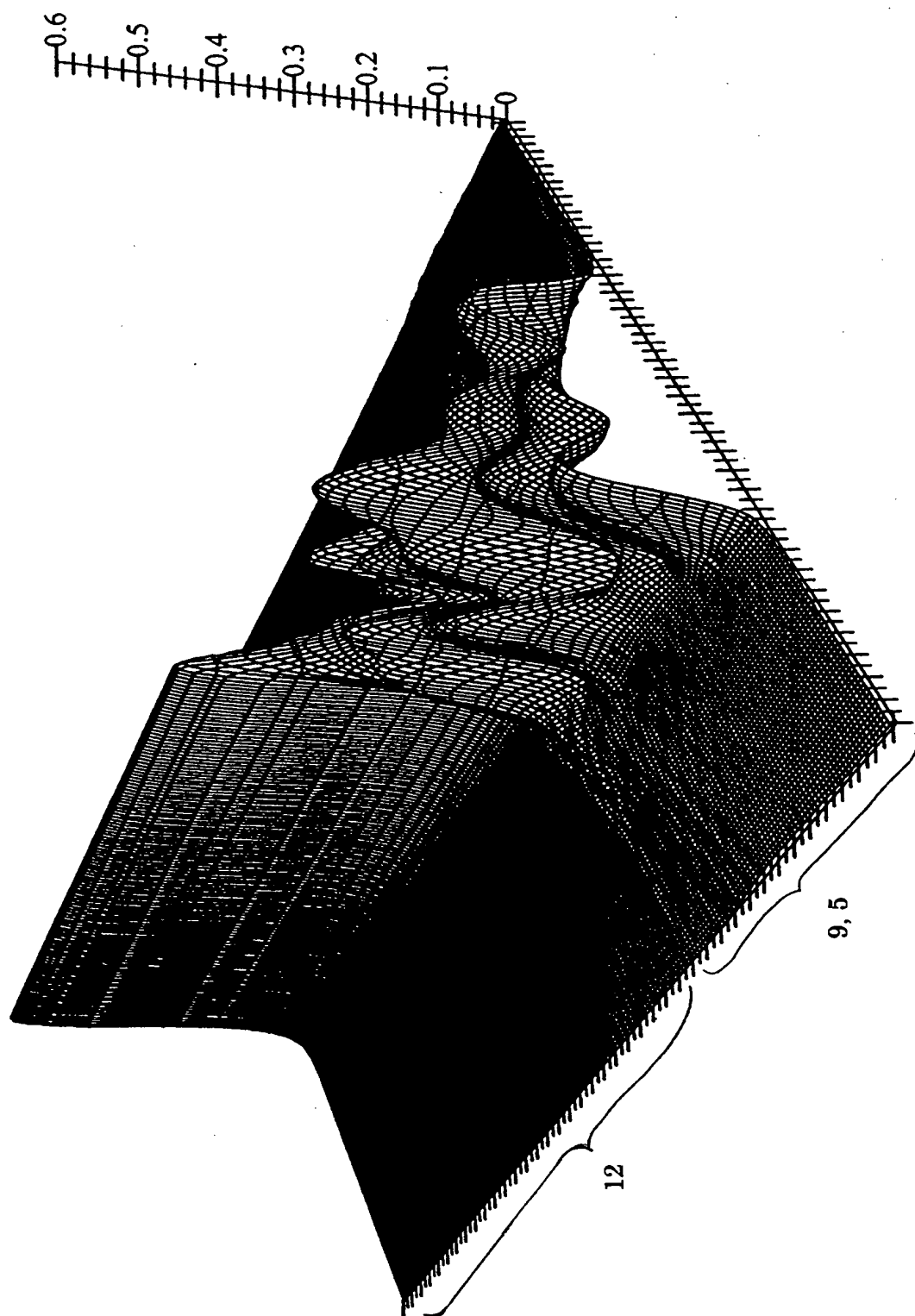


【図 15】

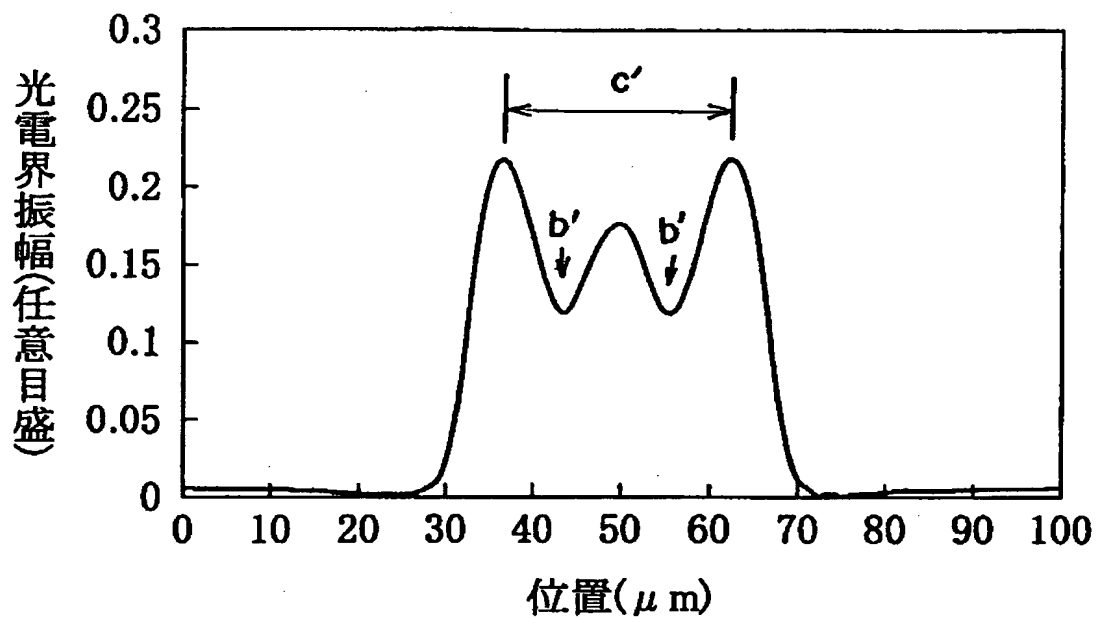


【図16】

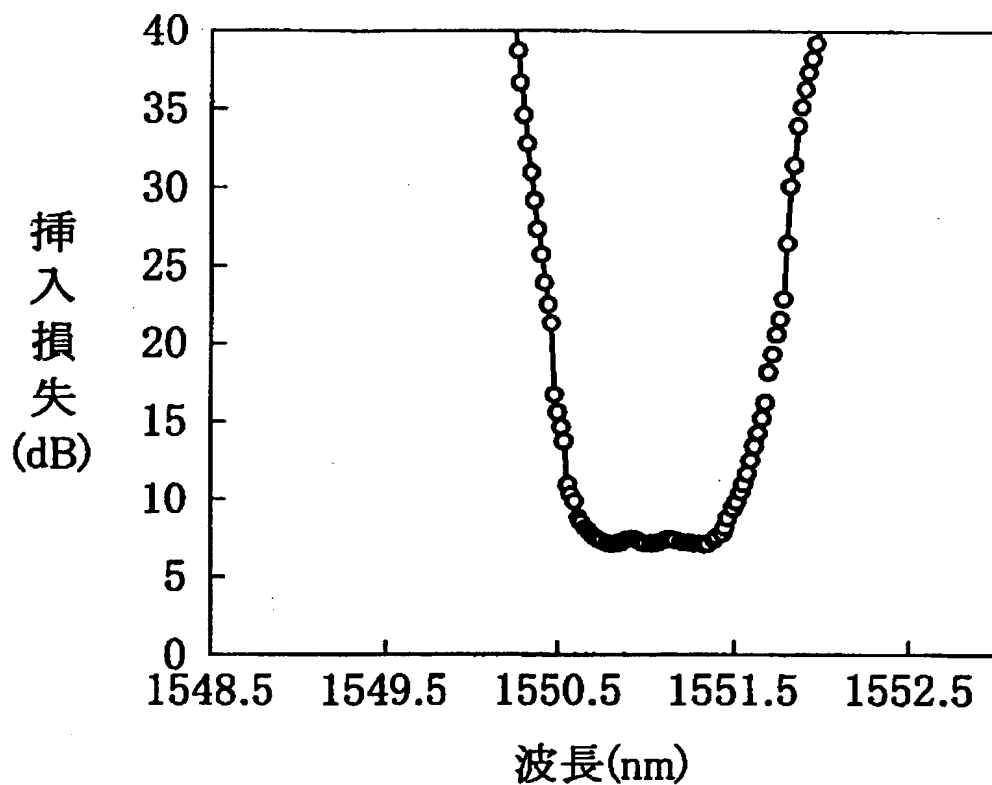
光電界振幅 (任意目盛)



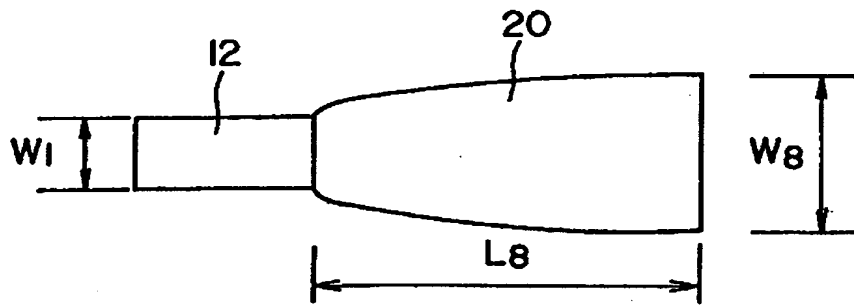
【図 17】



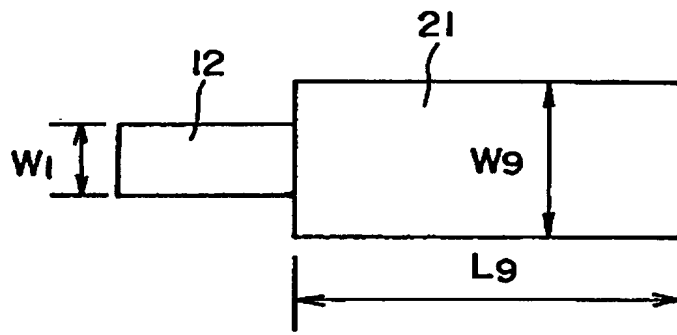
【図 18】



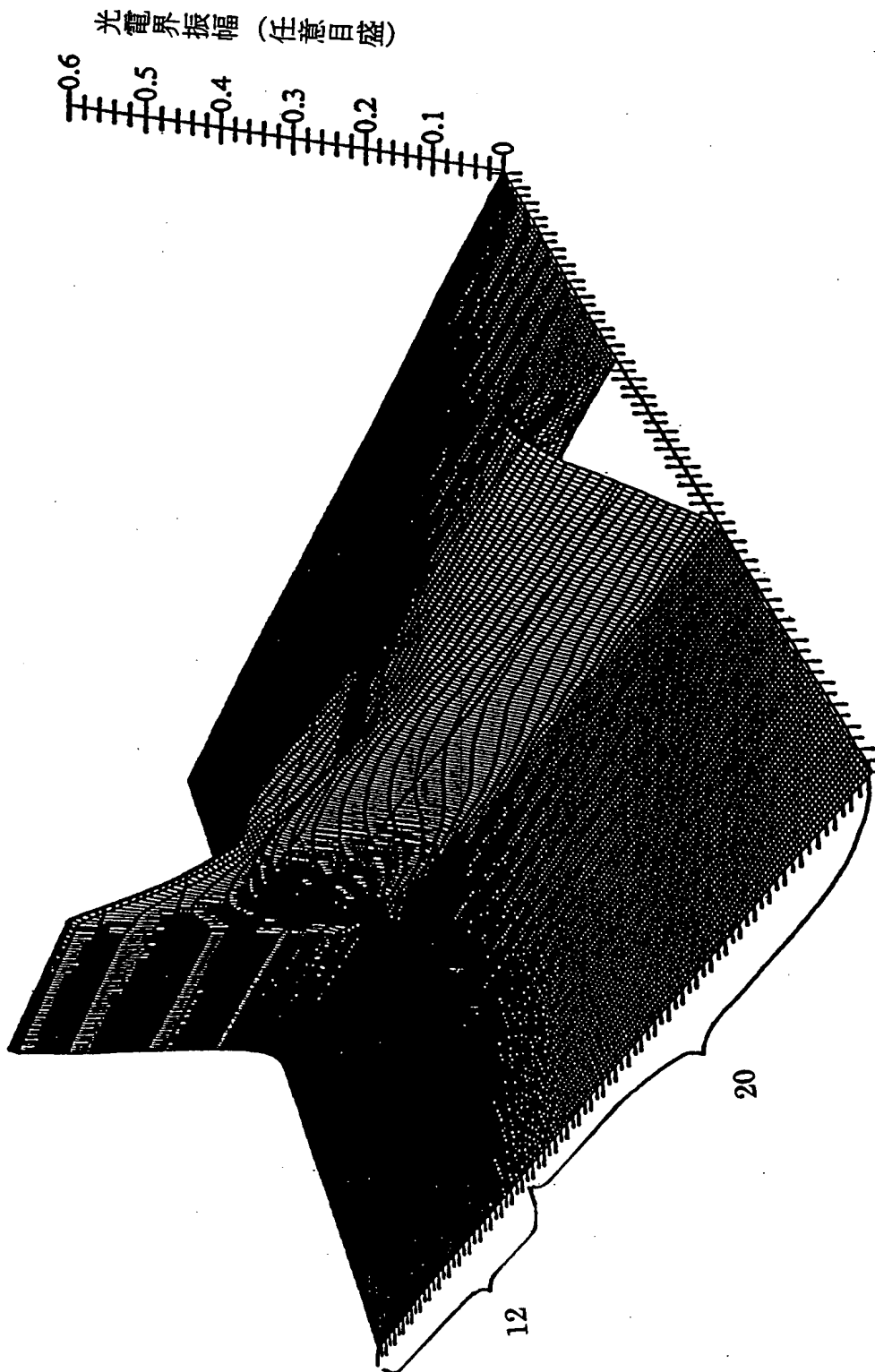
【図 1 9】



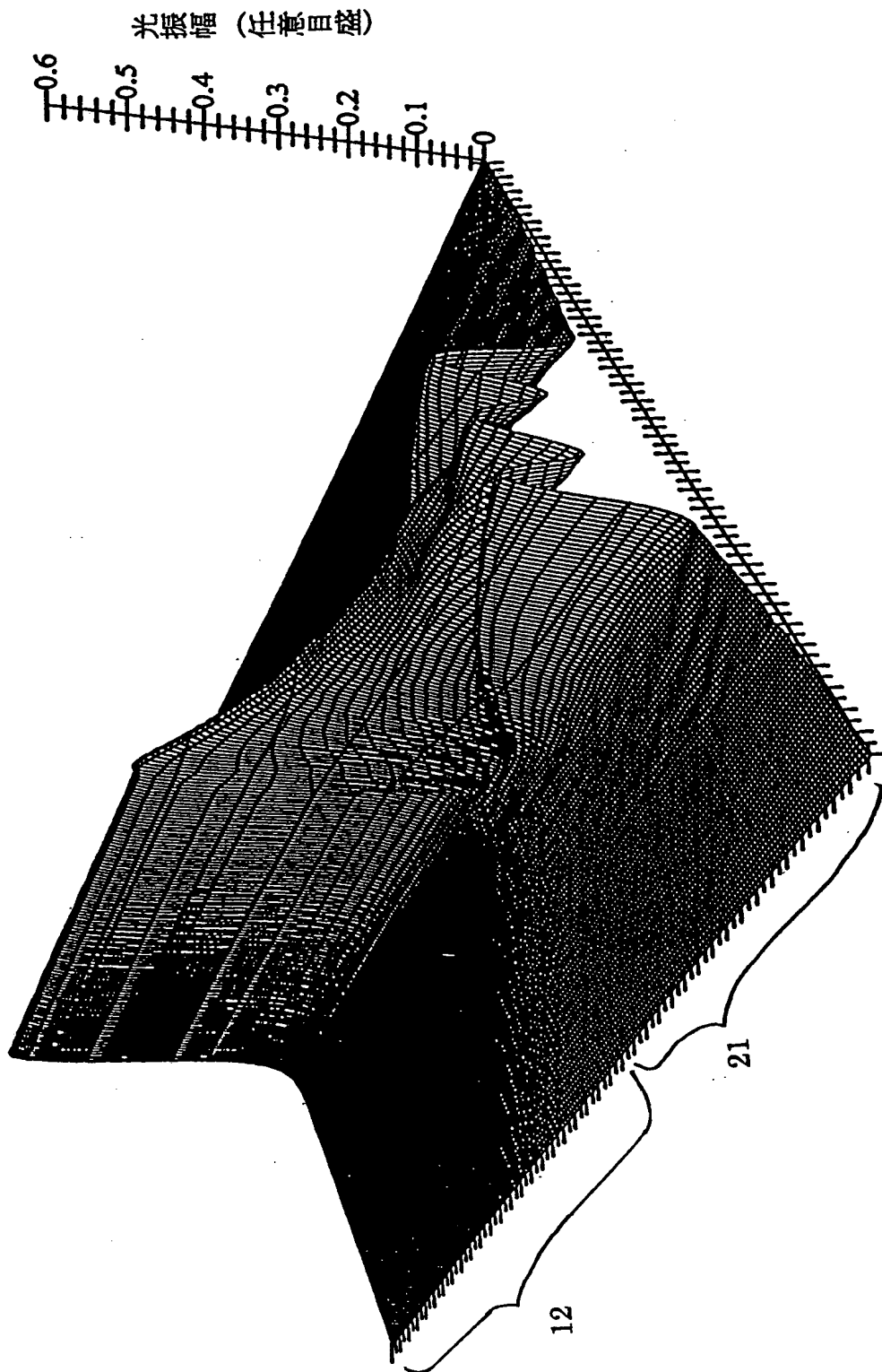
【図 2 0】



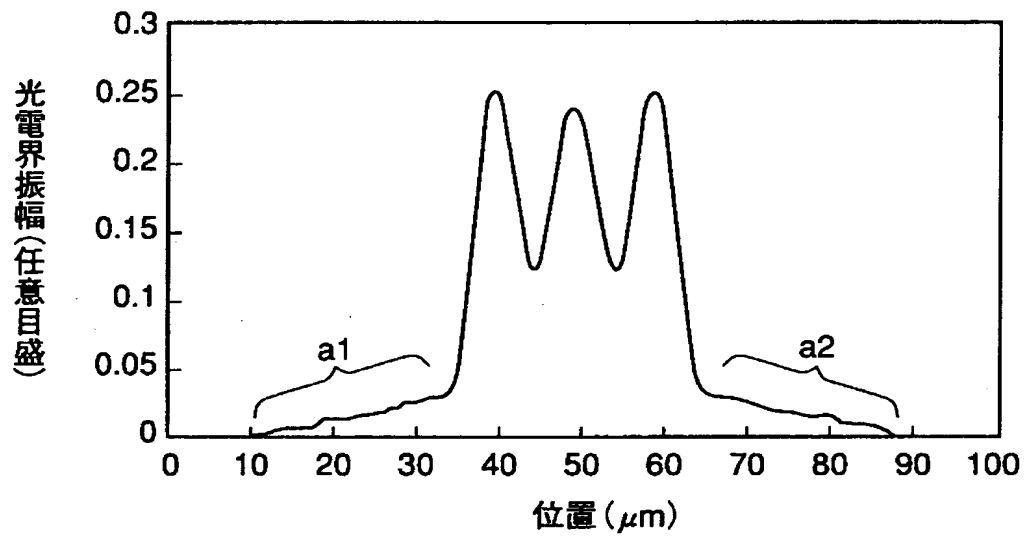
【図21】



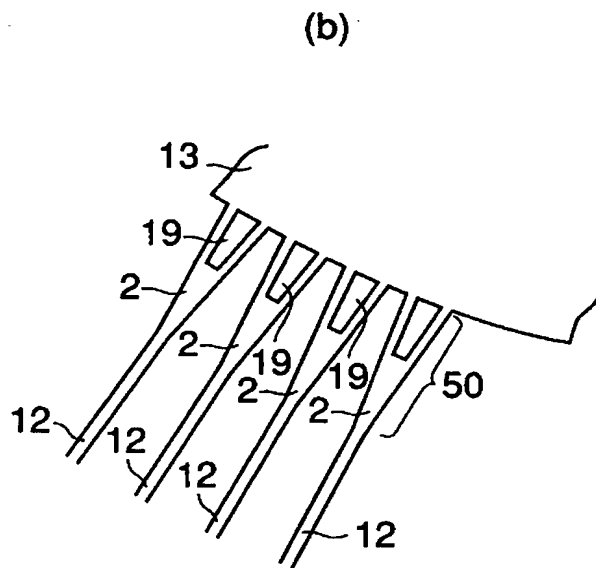
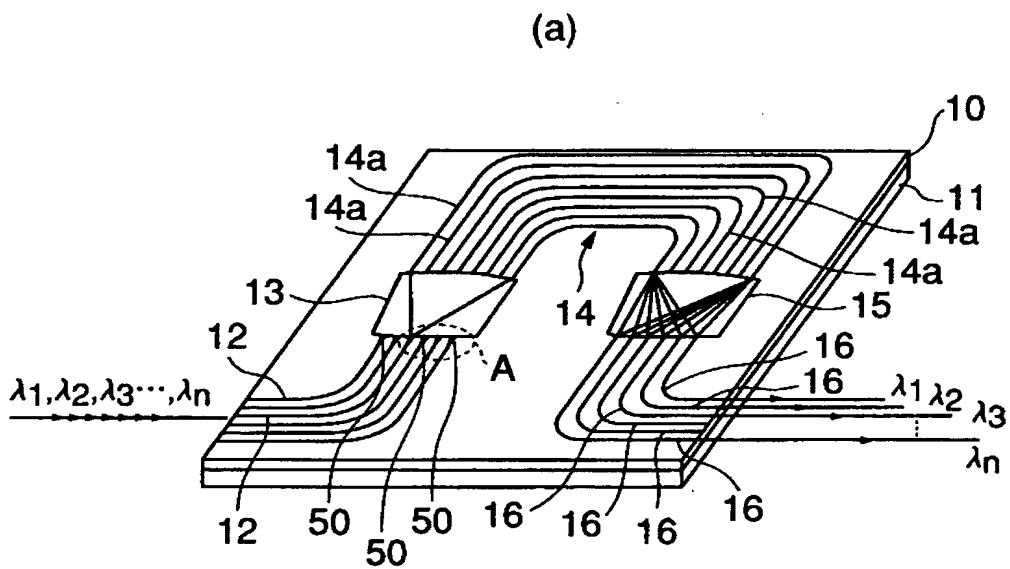
【図 22】



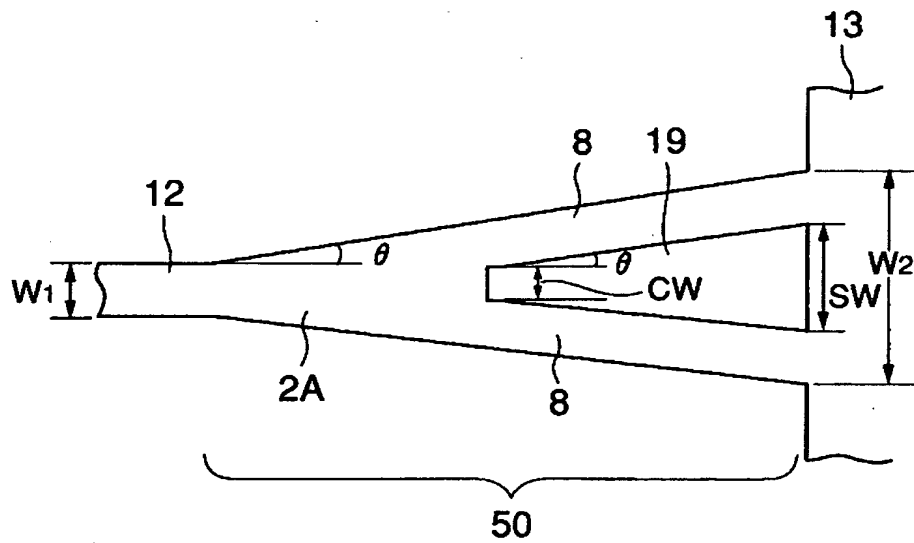
【図 2 3】



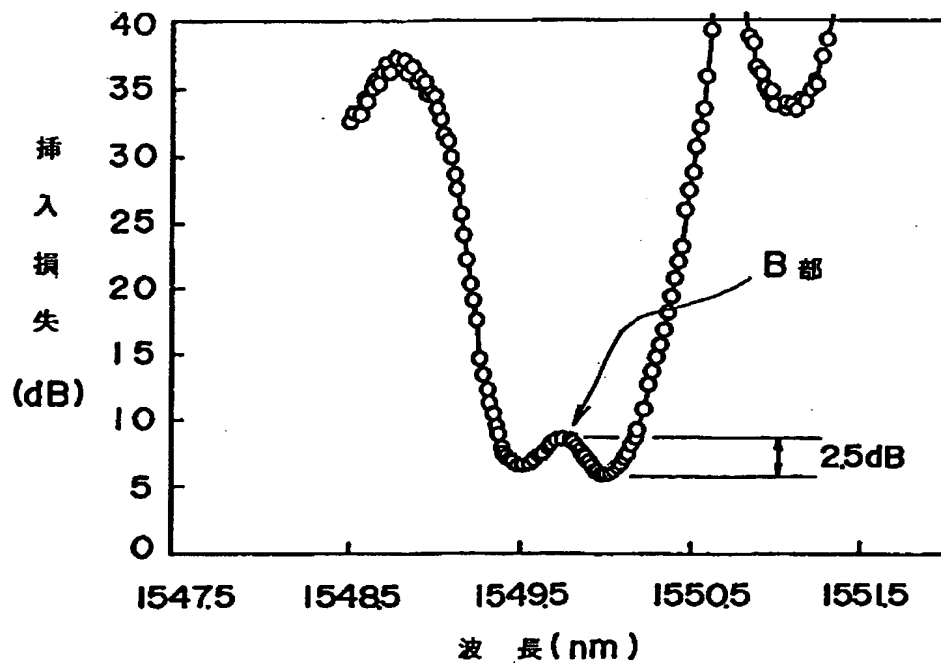
【圖 24】



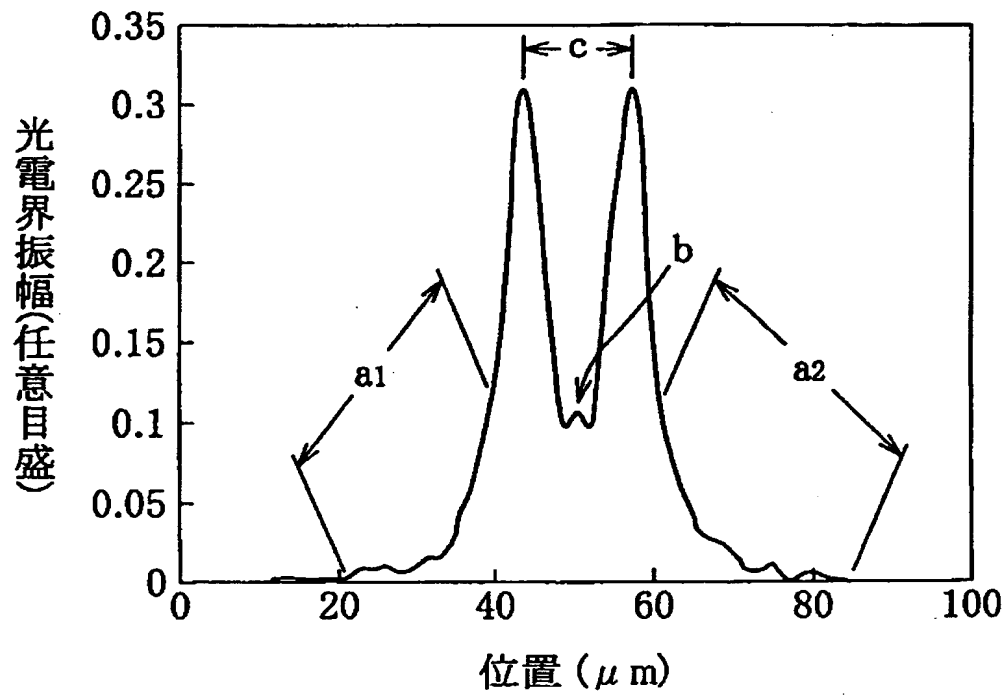
【図 2 5】



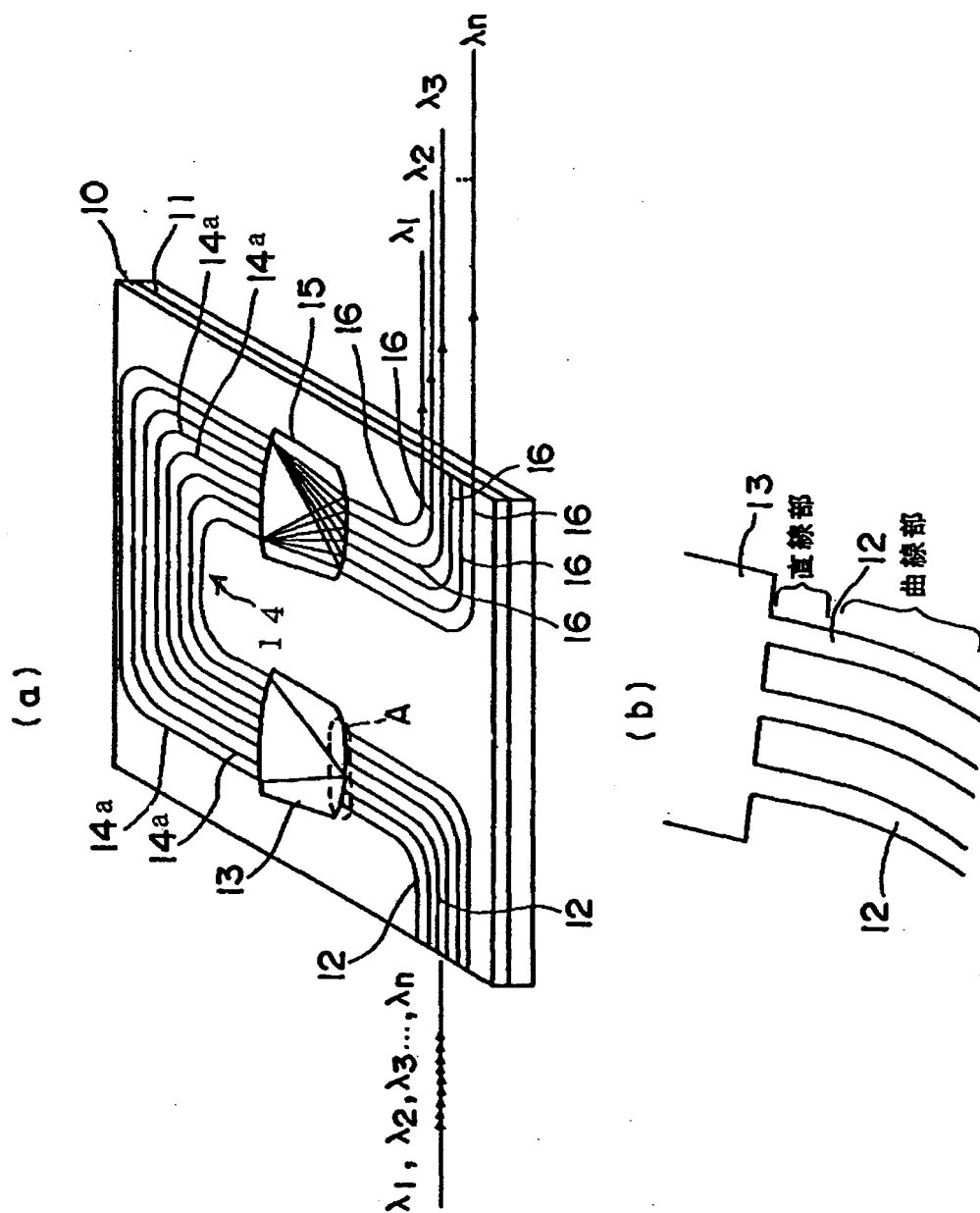
【図 2 6】



【図 2 7】



【図 28】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 1 d B 帯域幅が大きく、リップルが小さく、隣接クロストークの劣化を抑制できるアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供する。

【解決手段】 光入力導波路 1 2 と、第 1 のスラブ導波路 1 3 と、互いの長さが設定量異なる複数のチャンネル導波路 1 4 a を並設してなるアレイ導波路 1 4 と、第 2 のスラブ導波路 1 5 と、複数の並設した光出力導波路 1 6 とを順に接続してなる導波路形成部 1 0 を基板 1 1 上に形成する。少なくとも 1 本以上の光入力導波路 1 2 の出射側に、光入力導波路 1 2 より狭幅の直線導波路 1 を設け、その出射側に、アレイ導波路 1 4 側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路 5 を設ける。台形状導波路 5 の上底 4 を光入力導波路 1 2 の幅より広くする。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005290]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
氏 名 古河電気工業株式会社